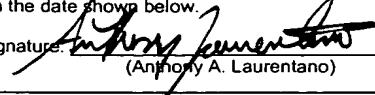


I hereby certify that this correspondence is being deposited with the U.S. Postal Service as Express Mail, Airbill No. EV 309 881 535 US, in an envelope addressed to: MS Patent Application, Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450, on the date shown below.

Dated: September 5, 2003

  
(Anthony A. Laurentano)

Docket No.: APW-022

(PATENT)

## IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of:  
Eiji Hashimoto, *et al.*

Application No.: NEW APPLICATION

Filed: Concurrently Herewith

Art Unit: N/A

For: CONTROL SYSTEM FOR PLANT

Examiner: Not Yet Assigned

### **CLAIM FOR PRIORITY AND SUBMISSION OF DOCUMENT**

MS Patent Application  
Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Dear Sir:

Applicants hereby claim priority under 35 U.S.C. 119 based on the following prior foreign application filed in the following foreign country on the date indicated:

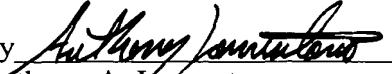
Country	Application No.	Date
Japan	2002-260392	September 5, 2002

In support of this claim, a certified copy of the said original foreign application is filed herewith.

Applicant believes no fee is due with this response. However, if a fee is due, please charge our Deposit Account No. 12-0080, under Order No. APW-022 from which the undersigned is authorized to draw.

Dated: September 5, 2003

Respectfully submitted,

By   
Anthony A. Laurentano  
Registration No.: 38,220  
LAHIVE & COCKFIELD, LLP  
28 State Street  
Boston, Massachusetts 02109  
(617) 227-7400  
(617) 742-4214 (Fax)  
Attorney/Agent For Applicant



日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

APW-022

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて  
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed  
with this Office

出願年月日

Date of Application: 2002年 9月 5日

出願番号

Application Number: 特願2002-260392

[ ST.10/C ]:

[ J P 2002-260392 ]

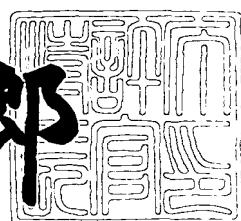
出願人

Applicant(s): 本田技研工業株式会社

2003年 6月 2日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2003-3042829

【書類名】 特許願  
【整理番号】 H102229301  
【提出日】 平成14年 9月 5日  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 G05B 13/00  
【発明者】  
【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内  
【氏名】 橋本 英史  
【発明者】  
【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内  
【氏名】 石黒 哲矢  
【発明者】  
【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内  
【氏名】 佐藤 正浩  
【発明者】  
【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内  
【氏名】 赤崎 修介  
【発明者】  
【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内  
【氏名】 岩城 喜久  
【発明者】  
【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内  
【氏名】 安井 裕司

【特許出願人】

【識別番号】 000005326

【氏名又は名称】 本田技研工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100105119

【弁理士】

【氏名又は名称】 新井 孝治

【電話番号】 03(5816)3821

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 043878

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 プラントの制御装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】 プラントをモデル化した制御対象モデルに基づいて前記プラントを制御するコントローラを備えたプラントの制御装置において、

前記制御対象モデルは、前記コントローラの制御周期よりも長い周期でサンプリングした前記プラントの入出力を用いてモデル化されており、

前記サンプリングされる前記プラントの入力は、前記コントローラの出力をフィルタ処理することにより得られるフィルタ処理後コントローラ出力とすることを特徴とするプラントの制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、プラントの制御装置に関し、特にプラントをモデル化した制御対象モデルを用いてプラントを制御するコントローラを備えたものに関する。

【0002】

【従来の技術】

プラントをモデル化した制御対象モデルを用いて、スライディングモード制御により、プラントを制御するスライディングモードコントローラは、従来より知られている（例えば、特許文献1参照）。このスライディングモードコントローラの制御周期は、制御対象モデルを定義するためのプラントの入出力のサンプリング周期と同一に設定されている。

【0003】

スライディングモード制御では、制御目標値と制御対象であるプラントの出力との制御偏差の減衰特性を指定することが可能であり、このような制御は応答指定型制御と呼ばれている。応答指定型制御としては、スライディングモード制御のほかにバックステッピング制御が知られている。

【0004】

【特許文献1】

特開2001-110636号公報

## 【0005】

## 【発明が解決しようとする課題】

制御対象であるプラントが摩擦の様な非線形な外乱を有する場合に、制御性を向上させるためには、コントローラの制御周期を短くする必要がある。すなわち、短い制御周期で制御対象の可動部を動かすことにより、静止摩擦による動作の非連続性を解消できる。また、制御周期が長くなるほど、目標値の変化が制御入力へ反映されるまでの時間、すなわち、むだ時間は長くなるので、目標値に対するプラント出力の追従性を向上させるためにも、制御周期を短くすることが有効である。

## 【0006】

しかしながら、制御性能を向上させるためにコントローラの制御周期を短く設定し、プラントの制御対象モデルを定義するためのサンプリング周期をその制御周期と一緒に設定すると、以下のような問題が発生する。すなわち、制御周期に比べてプラント出力の変化速度が遅い場合には、プラント出力の変化速度に比べて相対的に短い周期でサンプリングしたデータに基づいて制御対象モデルの特性を示すモデルパラメータの同定が行われる。そのため、サンプルデータ間の変化量が小さくなり、サンプルデータに基づいて同定されるモデルパラメータはプラントの動特性を正確にあらわすことができない。

## 【0007】

また、短い周期でサンプリングしたデータを用いる場合、制御偏差の変化量（前回のサンプリングデータから算出される制御偏差と、今回のサンプリングデータから算出される制御偏差との差）が小さくなる。上述したスライディングモード制御のような応答指定型制御では、制御偏差の減衰特性を指定する関数に基づいてフィードバック入力が決定されるが、この関数の値がゼロ近傍の値となってしまうため、フィードバックの感度が著しく低下し、指定した応答を実現できない場合があった。

## 【0008】

本発明は、上述した点に鑑みなされたものであり、制御対象モデルの特性を、

実際の制御対象であるプラントの特性により高い精度で近似させ、しかも制御周期は短い周期を採用して制御性を向上させることができるプラントの制御装置を提供することを目的とする。

## 【0009】

## 【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため請求項1に記載の発明は、プラントをモデル化した制御対象モデルに基づいて前記プラントを制御するコントローラを備えたプラントの制御装置において、前記制御対象モデルは、前記コントローラの制御周期（ $\Delta T_{CTL}$ ）よりも長い周期（ $\Delta T_{ID}$ ）でサンプリングした前記プラントの入出力を用いてモデル化されており、前記サンプリングされる前記プラントの入力は、前記コントローラの出力をフィルタ処理することにより得られるフィルタ処理後コントローラ出力（DUTAV）とすることを特徴とする。

## 【0010】

この構成によれば、コントローラの制御周期よりも長い周期でサンプリングしたプラントの入出力を用いてモデル化した制御対象モデルに基づいて、プラントが制御される。したがって、制御のむだ時間を小さくし、また摩擦特性などの動特性を補償するためにプラントの動作周波数領域に対応した周期より短い制御周期で制御を実行する場合において、制御対象モデルの動特性をプラントの実際の動特性に精度よく近似させることが可能となる。またコントローラの制御周期は、プラントの入出力のサンプリング周期より短いため、コントローラ出力、すなわちプラントの入力は、通常は制御周期に対応して変化する。したがって、コントローラ出力に対して高周波成分を減衰させるフィルタ処理を行い、該フィルタ処理後のコントローラ出力を、サンプリングされるプラント入力とすることにより、制御対象モデルに適用されるプラント入力の、比較的短い制御周期に対応した変動が抑制される。その結果、制御対象モデルの精度を高めて（モデル化誤差（制御対象の実際の特性と、制御対象モデルの特性との差）を減少させて）、プラントの制御性をより向上させることができる。

## 【0011】

## 【発明の実施の形態】

以下本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。

(第1の実施形態)

図1は本発明の第1の実施形態にかかるスロットル弁制御装置の構成を示す図である。内燃機関(以下「エンジン」という)1の吸気通路2には、スロットル弁3が設けられている。スロットル弁3には、該スロットル弁3を閉弁方向に付勢する第1付勢手段としてのリターンスプリング4と、該スロットル弁3を開弁方向に付勢する第2付勢手段としてのデフォルツスプリング5とが取り付けられている。またスロットル弁3は、駆動手段としてのモータ6によりギヤ(図示せず)を介して駆動できるように構成されている。モータ6による駆動力がスロットル弁3に加えられない状態では、スロットル弁3の開度THは、リターンスプリング4の付勢力と、デフォルツスプリング5の付勢力とが釣り合うデフォルト開度THDEF(例えば11度)に保持される。

【0012】

モータ6は、電子制御ユニット(以下「ECU」という)7に接続されており、その作動がECU7により制御される。スロットル弁3には、スロットル弁開度THを検出するスロットル弁開度センサ8が設けられており、その検出信号は、ECU7に供給される。

【0013】

またECU7には、エンジン1が搭載された車両の運転者の要求出力を検出するアクセルペダルの踏み込み量ACCを検出するアクセルセンサ9が接続されており、その検出信号がECU7に供給される。

ECU7は、スロットル弁開度センサ8及びアクセルセンサ9の検出信号が供給される入力回路、入力信号をディジタル信号に変換するAD変換回路、各種演算処理を実行する中央演算ユニット(CPU)、CPUが実行するプログラムやプログラムで参照されるマップやテーブルなどを格納するメモリ回路、及びモータ6に駆動電流を供給する出力回路を備えている。ECU7は、アクセルペダルの踏み込み量ACCに応じてスロットル弁3の目標開度THRを決定し、検出したスロットル弁開度THが目標開度THRと一致するようにモータ6の制御量DUTを決定し、制御量DUTに応じた電気信号をモータ6に供給する。

## 【0014】

制御量DUTは、モータ6に供給する電気信号の極性及びデューティ比を示すので、デューティ比ともいう。制御量DUTは、スロットル弁開度THがデフォルト開度THDEFより大きいときは、正の値をとり、モータ6はスロットル弁3を開弁方向に駆動する駆動力を発生する。また、スロットル弁開度THがデフォルト開度THDEFより小さいときは、負の値をとり、モータ6はスロットル弁3を閉弁方向に駆動する駆動力を発生する。

## 【0015】

本実施形態では、スロットル弁3、リターンスプリング4、デフォルツスプリング5及びモータ6からなるスロットル弁駆動装置10を制御対象とし、該制御対象に対する入力をモータ6に印加する電気信号のデューティ比DUTとし、制御対象の出力をスロットル弁開度センサ8により検出されるスロットル弁開度THとする。

## 【0016】

スロットル弁駆動装置10の応答周波数特性に応じて、下記式(1)で定義されるモデルを制御対象モデルとして設定する。このモデルの応答周波数特性は、スロットル弁駆動装置10の特性に近似させることが可能であることが確認されている。

$$\begin{aligned} DTH(n+1) = & a_1 \times DTH(n) + a_2 \times DTH(n-1) \\ & + b_1 \times DUT(n-d) + c_1 \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、nは同定周期ΔTIDで離散化されたサンプリング時刻または制御時刻を表すパラメータであり、DTH(n)は下記式(2)により定義されるスロットル弁開度偏差量である。

$$DTH(n) = TH(n) - THDEF \quad (2)$$

ここで、THは検出したスロットル弁開度、THDEFは前記デフォルト開度である。

## 【0017】

本実施形態では、制御対象モデルを定義する離散化時刻は、同定周期ΔTIDに対応したサンプリングリング時刻または制御時刻を表す「n」を用いるが、制

御入力DUTを算出し、出力する周期は、同定周期 $\Delta TID$ より短い制御周期 $\Delta TCTL$ （例えば同定周期 $\Delta TID$ の1/5程度とする）としており、制御周期 $\Delta TCTL$ に対応する離散化時刻は「k」で表すこととする。このように同定周期 $\Delta TID$ を制御周期 $\Delta TCTL$ より長くするのは、制御対象の出力の変化速度（変化周期）と比較して、短いサンプリング周期でサンプリングしたデータに基づいてモデルパラメータの同定を行うと、その精度が著しく低下し、制御対象特性のばらつきや変化に対する適応能力が不十分となるからである。

## 【0018】

また式(1)の $a_1, a_2, b_1, c_1$ は、制御対象モデルの特性を決めるモデルパラメータであり、dはむだ時間である。演算量低減のためには、むだ時間dを「0」とした下記式(1a)で制御対象モデルを定義することが有効である。むだ時間dを「0」とすることに起因するモデル化誤差（制御対象モデルの特性と、実際の制御対象（プラント）の特性との差）は、ロバスト性のあるスライディングモード制御を採用することにより補償する。

$$\begin{aligned} DTH(n+1) = & a_1 \times DTH(n) + a_2 \times DTH(n-1) \\ & + b_1 \times DUTAV(n) + c_1 \end{aligned} \quad (1a)$$

## 【0019】

また式(1a)では、制御量DUTに代えて、フィルタ処理後制御量DUTAVが用いられている。フィルタ処理後制御量DUTAVは、制御量DUTの高周波成分を減衰させるフィルタ処理、より具体的には移動平均化演算を行うことにより得られる。上記したように、制御周期 $\Delta TCTL$ は、制御対象モデルを定義するための離散化時刻nに対応する同定周期 $\Delta TID$ より短いので、制御量DUTは、制御周期 $\Delta TCTL$ に対応して変動する。ところが、そのような制御周期 $\Delta TCTL$ で変動する制御量DUTをそのまま用いると、モデルパラメータの同定誤差が大きくなる場合がある。そこで、フィルタ処理後制御量DUTAVを用いて、制御対象モデルを定義することとした。これにより、制御周期 $\Delta TCTL$ に対応した短い周期の、モデルパラメータの変動が抑制され、スロットル弁開度の制御性をより向上させることができる。

## 【0020】

また上記式(1a)においては、制御対象の出力であるスロットル弁開度偏差量DTHに関するモデルパラメータa1, a2、制御対象への入力DUT(フィルタ処理後制御量DUTAV)に関するモデルパラメータb1の他に、制御対象の入出力に関わらないモデルパラメータc1が採用されている。このモデルパラメータc1は、デフォルト開度THDEFのずれやスロットル弁駆動装置に加わる外乱を示すパラメータである。すなわち、後述するモデルパラメータ同定器により、モデルパラメータa1, a2, b1と同時にモデルパラメータc1を同定することにより、デフォルト開度ずれや外乱を同定できるようにしている。

### 【0021】

図2は、ECU7により実現されるスロットル弁制御装置の機能ブロック図であり、この制御装置は、適応スライディングモードコントローラ21と、モデルパラメータ同定器22と、モデルパラメータスケジューラ25と、アクセルペダル踏み込み量ACCに応じてスロットル弁3の目標開度THRを設定する目標開度設定部24と、減算器26, 27と、制御量DUTのフィルタ処理を行うフィルタ28とからなる。

### 【0022】

適応スライディングモードコントローラ21は、検出したスロットル弁開度THが目標開度THRと一致するように、適応スライディングモード制御によりデューティ比DUTを算出し、該算出したデューティ比DUTを出力する。

適応スライディングモードコントローラ21を用いることにより、スロットル弁開度THの目標開度THRに対する応答特性を、所定のパラメータ(後述する切換関数設定パラメータVPOLE)を用いて適宜変更する(指定する)ことが可能となる。その結果、スロットル弁開度に応じて最適な応答特性を指定することができ、例えばスロットル弁3を開弁位置から全閉位置に移動させる際の衝撃(スロットル全閉ストップへの衝突)の回避、及びアクセル操作に対するエンジンレスポンスの可変化が可能となる。また、スライディングモード制御により、モデルパラメータの誤差に対する安定性を確保することが可能となる。

### 【0023】

モデルパラメータ同定器22は、修正モデルパラメータベクトル $\theta_L$ ( $\theta_L^T$

$= [a_1, a_2, b_1, c_1]$  ) を算出し、適応スライディングモードコントローラ21に供給する。より具体的には、モデルパラメータ同定器22は、スロットル弁開度TH及びフィルタ処理後制御量DUTAVに基づいて、モデルパラメータベクトル $\theta$ を算出する。さらに、そのモデルパラメータベクトル $\theta$ に対して第1リミット処理、オーバサンプリング及び移動平均化処理、並びに第2リミット処理を行うことにより修正モデルパラメータベクトル $\theta_L$ を算出し、該修正モデルパラメータベクトル $\theta_L$ を適応スライディングモードコントローラ21に供給する。このようにしてスロットル弁開度THを目標開度THRに追従させるために最適なモデルパラメータ $a_1, a_2, b_1$ が得られ、さらに外乱及びデフォルト開度THDEFのずれを示すモデルパラメータ $c_1$ が得られる。第1リミット処理、オーバサンプリング及び移動平均化処理、並びに第2リミット処理については、後述する。

#### 【0024】

リアルタイムでモデルパラメータを同定するモデルパラメータ同定器22を用いることにより、エンジン運転条件の変化への適応、ハードウェアの特性ばらつきの補償、電源電圧変動の補償、及びハードウェア特性の経年変化への適応が可能となる。

#### 【0025】

モデルパラメータスケジューラ25は、下記式(3)により目標開度THR(n)とデフォルト開度THDEFとの偏差量として定義される目標値DTHRに応じて、基準モデルパラメータベクトル $\theta_{base}$  ( $\theta_{base}^T = [a_1_{base}, a_2_{base}, b_1_{base}, c_1_{base}]$ ) を算出し、モデルパラメータ同定器22に供給する。基準モデルパラメータベクトル $\theta_{base}$ の算出は、同定周期 $\Delta TID$ 毎に実行される。

$$DTHR(n) = THR(n) - THDEF \quad (3)$$

#### 【0026】

減算器26及び27は、デフォルト開度THDEFと、スロットル弁開度TH及び目標開度THRとの偏差量を、スロットル弁開度偏差量DTH及び目標値DTHRとして算出する(式(2)及び式(3)参照)。

フィルタ28は、制御量DUTの高周波成分を減衰させるフィルタ処理を行う。より具体的には、制御量DUTの移動平均化演算により、フィルタ処理後制御量DUTAVが算出され、モデルパラメータ同定器22に入力される。

## 【0027】

次に適応スライディングモードコントローラ21の動作原理を説明する。

スロットル弁開度偏差量DTHと、目標値DTHRとの偏差 $e(k)$ を下記式(4)で定義すると、適応スライディングモードコントローラの切換関数値 $\sigma(k)$ は、下記式(5)のように設定される。

$$e(n) = DTH(n) - DTHR(n) \quad (4)$$

$$\sigma(n) = e(n) + VPOLE \times e(n-1) \quad (5)$$

$$= (DTH(n) - DTHR(n)) \\ + VPOLE \times (DTH(n-1) - DTHR(n-1))$$

ここで、VPOLEは、-1より大きく1より小さい値に設定される切換関数設定パラメータである。

## 【0028】

縦軸を偏差 $e(n)$ とし、横軸を前回偏差 $e(n-1)$ として定義される位相平面上では、 $\sigma(n)=0$ を満たす偏差 $e(n)$ と、前回偏差 $e(n-1)$ との組み合わせは、直線となるので、この直線は一般に切換直線と呼ばれる。スライディングモード制御は、この切換直線上の偏差 $e(n)$ の振る舞いに着目した制御であり、切換関数値 $\sigma(n)$ が0となるように、すなわち偏差 $e(n)$ と前回偏差 $e(n-1)$ の組み合わせが位相平面上の切換直線上に載るように制御を行い、外乱やモデル化誤差に対してロバストな制御を実現するものである。その結果、スロットル弁開度偏差量DTHは、目標値DTHRに追従するように、良好なロバスト性を持って制御される。

## 【0029】

また式(5)の切換関数設定パラメータVPOLEの値を変更することにより、偏差 $e(n)$ の減衰特性、すなわちスロットル弁開度偏差量DTHの目標値DTHRへの追従特性を変更することができる。具体的には、 $VPOLE = -1$ とすると、全く追従しない特性となり、切換関数設定パラメータVPOLEの絶対値

を小さくするほど、追従速度を速めることができる。このようにスライディングモードコントローラは、偏差  $e(n)$  の減衰特性を所望の特性に指定可能であるので、応答指定型コントローラと呼ばれる。

## 【0030】

スライディングモード制御によれば、切換関数設定パラメータ V P O L E を変更することにより、容易に収束速度を変更できるので、本実施形態では、スロットル弁開度偏差量 D T H に応じて、切換関数設定パラメータ V P O L E を設定し、スロットル弁 3 の作動状態に適した応答特性を得られるようにしている。

## 【0031】

上述したようにスライディングモード制御では、偏差  $e(n)$  と前回偏差  $e(n-1)$  の組み合わせ（以下「偏差状態量」という）を切換直線上に拘束することにより、偏差  $e(n)$  を指定した収束速度で、かつ外乱やモデル化誤差に対してロバストに、「0」に収束させる。したがって、スライディングモード制御では、如何にして偏差状態量を切換直線に載せ、そこに拘束するかが重要となる。

## 【0032】

そのような観点から、制御対象への入力（コントローラの出力） D U T(k)（ $U_{s1}(k)$ とも表記する）は、下記式(6)に示すように、等価制御入力  $U_{eq}(k)$ 、到達則入力  $U_{r\ ch}(k)$ 、適応則入力  $U_{adp}(k)$ 、非線形入力  $U_{n1}(k)$ 、及びダンピング入力  $U_{damp}(k)$ の和として算出される。

$$\begin{aligned} D U T(k) &= U_{s1}(k) \\ &= U_{eq}(k) + U_{r\ ch}(k) + U_{adp}(k) \\ &\quad + U_{n1}(k) + U_{damp}(k) \end{aligned} \quad (6)$$

## 【0033】

等価制御入力  $U_{eq}(k)$  は、偏差状態量を切換直線上に拘束するための入力であり、到達則入力  $U_{r\ ch}(k)$  は、偏差状態量を切換直線上へ載せるための入力であり、適応則入力  $U_{adp}(k)$  は、モデル化誤差や外乱の影響を抑制し、偏差状態量を切換直線へ載せるための入力である。

また非線形入力  $U_{n1}$  は、スロットル弁 3 の弁体を駆動する減速ギヤのバックラッシなどの非線形モデル化誤差を抑制し、偏差状態量を切換直線上に載せるた

めの入力である。ダンピング入力  $U_{damp}$  は、スロットル弁開度偏差量  $DTH$  の目標値  $DTHR$  に対するオーバーシュートを防止するための入力である。

以下各入力  $U_{eq}(k)$ ,  $U_{rach}(k)$ ,  $U_{adp}(k)$ ,  $U_{nl}(k)$ , 及び  $U_{damp}(k)$  の算出方法を説明する。

#### 【0034】

等価制御入力  $U_{eq}(k)$  は、偏差状態量を切換直線上に拘束するための入力であるから、満たすべき条件は下記式(7)で与えられる。

$$\sigma(n) = \sigma(n+1) \quad (7)$$

式(1)並びに式(4)及び(5)を用いて式(7)を満たすデューティ比  $DUT(n)$  を求めると、下記式(8)が得られ、これが等価制御入力  $U_{eq}(n)$  となる。

$$\begin{aligned} DUT(n) &= (1/b_1) \{ (1 - a_1 - VOLE) DTH(n) \\ &\quad + (VOLE - a_2) DTH(n-1) - c_1 + DTHR(n+1) \\ &\quad + (VOLE - 1) DTHR(n) - VOLE \times DTHR(n-1) \} \\ &= U_{eq}(n) \end{aligned} \quad (8)$$

#### 【0035】

実際には目標値の未来値である  $DTHR(n+1)$  を得ることは困難であるので、本実施形態では、目標値  $DTHR$  に関する項を除き、さらに離散化時刻  $n$  を離散化時刻  $k$  に変換した下記式(8a)により、等価制御入力  $U_{eq}(k)$  が算出される。

$$\begin{aligned} U_{eq}(k) &= (1/b_1) \{ (1 - a_1 - VOLE) DTH(k) \\ &\quad + (VOLE - a_2) DTH(k-k_0) - c_1 \} \end{aligned} \quad (8a)$$

ここで、 $k_0$  は、同定周期  $\Delta TID$  と制御周期  $\Delta TCTL$  の比 ( $\Delta TID/\Delta TCTL$ 、例えば「5」) である。

#### 【0036】

また、到達則入力  $U_{rach}(k)$  及び適応則入力  $U_{adp}(k)$  は、それぞれ下記式(9)及び(10)により算出する。

#### 【0037】

## 【数1】

$$U_{rch}(k) = \frac{-F}{b_1} \sigma(k) \quad (9)$$

$$U_{adp}(k) = U_{adp}(k-1) - \frac{G}{b_1} \Delta TCTL \times \sigma(k) \quad (10)$$

ここで、F及びGは、それぞれ到達則制御ゲイン及び適応則制御ゲインであり、偏差状態量が安定に切換直線上に載せられるように設定される。また、 $\sigma(k)$ は、前記切換関数値 $\sigma(n)$ を離散化時刻kを用いて表したものであり、下記式(5a)により算出される。

$$\begin{aligned} \sigma(k) &= e(k) + VOLE \times e(k-k_0) \\ &= DTH(k) - DTHR(k) \\ &\quad + VOLE \times (DTH(k-k_0) - DTHR(k-k_0)) \end{aligned} \quad (5a)$$

## 【0038】

非線形入力 $U_{n1}$ は、下記式(11)により算出される。

$$U_{n1}(k) = -K_{n1} \times \text{sgn}(\sigma(k)) / b_1 \quad (11)$$

ここで、 $\text{sgn}(\sigma(k))$ は、 $\sigma(k)$ が正の値のとき「1」となり、 $\sigma(k)$ が負の値のとき「-1」となる符号関数であり、 $K_{n1}$ はスロットル弁開度偏差量DTHに応じて設定される非線形入力ゲインである。

非線形入力 $U_{n1}(k)$ を用いることにより、目標値DTHRが微小変化する場合において、定常偏差の収束が遅れることが防止される。

## 【0039】

ダンピング入力 $U_{damp}$ は、下記式(13)により算出される。

$$U_{damp} = -K_{damp} (DTH(k) - DTH(k-1)) / b_1 \quad (13)$$

ここで、 $K_{damp}$ は、ダンピング制御ゲインであり、下記式(14)により算出される。

$$K_{damp} = K_{damp}bs \times K_{k damp} \quad (14)$$

ここで、 $K_{damp}bs$ は、スロットル弁開度偏差量DTHに応じて設定される基本値であり、 $K_{k damp}$ は、目標値DTHRの変化量の移動平均値DDT

H R A Vに応じて設定される補正係数である。

移動平均値D D T H R A Vは下記式(15)により算出される。

【数2】

$$DDTHRAV(k) = \sum_{i=0}^{iAV} (DTHR(k-i) - DTHR(k-i-1)) / (iAV + 1) \quad (15)$$

ここで*iAV*は、例えば「50」に設定される所定数である。

【0040】

以上のように、等価制御入力U<sub>e q</sub>(k)、到達則入力U<sub>r c h</sub>(k)、適応則入力U<sub>a d p</sub>(k)、非線形入力U<sub>n l</sub>(k)、及びダンピング入力U<sub>d a m p</sub>(k)を算出し、それらの入力の総和として、デューティ比D U T(k)を算出することができる。

【0041】

次にモデルパラメータ同定器22の動作原理を説明する。

モデルパラメータ同定器22は、前述したように制御対象の入力(D U T(n))に対応するフィルタ処理後制御量D U T A V及び制御対象の出力(D T H(n))に基づいて、制御対象モデルのモデルパラメータベクトルを算出する。具体的には、モデルパラメータ同定器22は、下記式(16)による逐次型同定アルゴリズム(一般化逐次型最小2乗法アルゴリズム)により、モデルパラメータベクトルθ(n)を算出する。

$$\theta(n) = \theta(n-1) + K P(n) i d e(n) \quad (16)$$

$$\theta(n)^T = [a_1", a_2", b_1", c_1"] \quad (17)$$

【0042】

ここで、a1", a2", b1"及びc1"は、後述する第1リミット処理を実施する前のモデルパラメータである。また*i d e(n)*は、下記式(18)、(19)及び(20)により定義される同定誤差である。D T H H A T(n)は、最新のモデルパラメータベクトルθ(n-1)を用いて算出される、スロットル弁開度偏差量D T H(n)の推定値(以下「推定スロットル弁開度偏差量」という)である。

る。 $KP(n)$ は、下記式(21)により定義されるゲイン係数ベクトルである。  
また、式(21)の $P(n)$ は、下記式(22)により算出される4次の正方行列である。

【0043】

【数3】

$$ide(n) = DTH(n) - DTHHAT(n) \quad (18)$$

$$DTHHAT(n) = \theta(n-1)^T \zeta(n) \quad (19)$$

$$\zeta(n)^T = [DTH(n-1), DTH(n-2), DUTAV(n-1), 1] \quad (20)$$

【数4】

$$KP(n) = \frac{P(n)\zeta(n)}{1 + \zeta^T(n)P(n)\zeta(n)} \quad (21)$$

$$P(n+1) = \frac{1}{\lambda_1} (I - \frac{\lambda_2 P(n) \zeta(n) \zeta^T(n)}{\lambda_1 + \lambda_2 \zeta^T(n) P(n) \zeta(n)}) P(n) \quad (22)$$

( I は単位行列)

【0044】

式(20)のフィルタ処理後制御量DUTAVは、下記式(23)により、制御周期 $\Delta TCTL$ で算出され、 $DUTAV(n-1)$ は、下記式(24)で与えられる。

【数5】

$$DUTAV(k) = \sum_{j=0}^{jAV} DUT(k-j) / (jAV + 1) \quad (23)$$

$$DUTAV(n-1) = DUTAV(k-k0) \quad (24)$$

式(23)の( $jAV + 1$ )は、移動平均化演算を行うデータの数であり、 $jAV$ は例えば「4」に設定される。

## 【0045】

式(22)の係数 $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ の設定により、式(16)～(22)による同定アルゴリズムは、以下のような4つの同定アルゴリズムのいずれかになる。

$\lambda_1 = 1$ ,  $\lambda_2 = 0$  固定ゲインアルゴリズム

$\lambda_1 = 1$ ,  $\lambda_2 = 1$  最小2乗法アルゴリズム

$\lambda_1 = 1$ ,  $\lambda_2 = \lambda$  漸減ゲインアルゴリズム ( $\lambda$ は0, 1以外の所定値)

$\lambda_1 = \lambda$ ,  $\lambda_2 = 1$  重み付き最小2乗法アルゴリズム ( $\lambda$ は0, 1以外の所定値)

## 【0046】

演算量の低減のために固定ゲインアルゴリズムを採用すると、式(21)は、下記式(21a)のように簡略化される。式(21a)においてPは、定数を対角要素とする正方行列である。

## 【数6】

$$KP(n) = \frac{P\zeta(n)}{1 + \zeta^T(n)P\zeta(n)} \quad (21a)$$

## 【0047】

式(16)～(20), 及び(21a)により演算されるモデルパラメータは、所望値から徐々にずれていく場合がある。すなわち、モデルパラメータがある程度収束した後に、スロットル弁の摩擦特性などの非線形特性によって生じる残留同定誤差が存在したり、平均値がゼロでない外乱が定常的に加わるような場合には、残留同定誤差が蓄積し、モデルパラメータのドリフトが引き起こされる。このようなモデルパラメータのドリフトを防止すべく、モデルパラメータベクトル $\theta(n)$ は、上記式(16)に代えて、下記式(16a)により算出される。

$$\begin{aligned} \theta(n) = & \theta(0) + \text{DELT A}^{n-1} \times KP(1) \text{ i d e}(1) \\ & + \text{DELT A}^{n-2} \times KP(2) \text{ i d e}(2) + \dots \\ & + \text{DELT A} \times KP(n-1) \text{ i d e}(n-1) + KP(n) \text{ i d e}(n) \end{aligned} \quad (16a)$$

## 【0048】

ここで、DELT Aは下記式(23)で示すように、忘却係数 $\delta_i$ ( $i=1 \sim 3$ )及び「1」を対角要素とし、他の要素がすべて「0」である忘却係数行列である。

## 【数7】

$$\text{DELT A} = \begin{bmatrix} \delta_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \delta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \delta_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (25)$$

忘却係数 $\delta_i$ は、0から1の間の値に設定され( $0 < \delta_i < 1$ )、過去の同定誤差の影響を徐々に減少させる機能を有する。式(25)では、モデルパラメータc1の演算にかかる係数が「1」に設定されており、過去値の影響が保持されるようになっている。このように、忘却係数行列DELT Aの対角要素の一部、すなわちモデルパラメータc1の演算にかかる係数を「1」とすることにより、目標値DTHRと、スロットル弁開度偏差量DTHとの定常偏差が発生することを防止することができる。また忘却係数行列DELT Aの他の対角要素 $\delta_1$ ,  $\delta_2$ 及び $\delta_3$ を「0」より大きく「1」より小さい値に設定することにより、モデルパラメータのドリフトが防止される。

## 【0049】

式(16a)を漸化式形式に書き直すと、下記式(16b)(16c)が得られる。前記式(16)に代えて下記式(16b)及び(16c)を用いてモデルパラメータベクトル $\theta(n)$ を算出する手法を、以下 $\delta$ 修正法といい、式(16c)で定義される $d\theta(n)$ を「更新ベクトル」という。

$$\theta(n) = \theta(0) + d\theta(n) \quad (16b)$$

$$d\theta(n) = \text{DELT A} \cdot d\theta(n-1) + K_P(n) i_d e(n) \quad (16c)$$

## 【0050】

$\delta$ 修正法を用いたアルゴリズムによれば、ドリフト防止効果とともに、モデルパラメータの安定化効果も得られる。すなわち、初期値ベクトル $\theta(0)$ が常に保存され、更新ベクトル $d\theta(n)$ も忘却係数行列DELT Aの働きにより、その要

素のとりうる値が制限されるので、各モデルパラメータを初期値近傍に安定させることができること。

## 【0051】

さらに実際の制御対象の入出力データに基づいた同定により更新ベクトル  $d\theta(n)$  を調整しつつモデルパラメータを算出するので、実際の制御対象に適合したモデルパラメータを算出できる。

さらに上記式(16b)の初期値ベクトル  $\theta(0)$  に代えて、基準モデルパラメータベクトル  $\theta_{base}$  を用いる下記式(16d)により、モデルパラメータベクトル  $\theta(n)$  を算出することが望ましい。

$$\theta(n) = \theta_{base} + d\theta(n) \quad (16d)$$

## 【0052】

基準モデルパラメータベクトル  $\theta_{base}$  は、モデルパラメータスケジューラ25により目標値 DTHR に応じて設定されるので、スロットル弁開度 TH の変化に対応する動特性の変化に適応させることができる。

## 【0053】

本実施形態では、さらに同定誤差  $ide(n)$  のローパスフィルタ処理を行う。ローパス特性（高周波成分が減衰する特性）を有する制御対象について、モデルパラメータ同定器22によりモデルパラメータを同定すると、同定されたモデルパラメータは高周波域阻止特性に大きく影響されたものとなるため、低周波域での制御対象モデルのゲインが実際の特性より低くなる。その結果、スライディングモードコントローラ21による制御入力の補正が過補正となる。

## 【0054】

そこで、ローパスフィルタ処理により、制御対象モデルの周波数特性を実際の周波数特性と一致させ、あるいは制御対象モデルの低域ゲインが実際の低域ゲインよりやや高くなるように修正することとした。これにより、コントローラ21による過補正を防止し、制御系のロバスト性を高めて制御系をより安定化させることができる。

## 【0055】

なお、ローパスフィルタ処理は、同定誤差の過去値  $ide(n-i)$ （例えば  $i=1$

～10に対応する10個の過去値)をリングバッファに記憶し、それらの過去値に重み係数を乗算して加算することにより実行する。

## 【0056】

ローパスフィルタ処理を施した同定誤差を下記式(30)で示すように、 $i_d e_f(n)$ と表すこととすると、前記式(16c)に代えて、下記式(16e)を用いて更新ベクトル $d\theta(n)$ が算出される。

$$i_d e_f(n) = L F(i_d e(n)) \quad (30)$$

$$d\theta(n) = \text{DELT}A \cdot d\theta(n-1) + K_P(n) i_d e_f(n) \quad (16e)$$

## 【0057】

上述したように本実施形態では、適応スライディングモードコントローラ21、モデルパラメータ同定器22及びモデルパラメータスケジューラ25を同定周期 $\Delta T_{ID}$ をサンプリング周期(制御周期)とするモデルに基づいて構成され、適応スライディングモードコントローラ21は制御周期 $\Delta T_{CTL}$ 毎に、制御入力を演算し、モデルパラメータ同定器22は、同定周期 $\Delta T_{ID}$ 毎にモデルパラメータベクトル $\theta$ を同定し、モデルパラメータスケジューラ25は、同定周期 $\Delta T_{ID}$ 毎に基準モデルパラメータベクトル $\theta_{base}$ を算出するようにした。

## 【0058】

このような演算タイミングを採用すると、コントローラ21による制御入力DUTの更新周期より、制御入力DUTの演算に用いるモデルパラメータの更新周期の方が長くなるため、モデルパラメータの更新周期が制御入力DUTに影響し、制御系の共振が発生する可能性がある。

## 【0059】

そこで、本実施形態ではそのような共振を防止すべく、同定周期 $\Delta T_{ID}$ で同定されるモデルパラメータを、制御周期 $\Delta T_{CTL}$ でサンプリング(オーバサンプリング)してリングバッファに格納し、そのリングバッファに格納したデータを移動平均化処理して得られる値をモデルパラメータとして使用している。

## 【0060】

式(16d)により算出されるモデルパラメータベクトル $\theta(n)$ の要素 $a_1''$ 、 $a_2''$ 、 $b_1''$ 、及び $c_1''$ は、制御系のロバスト性を高めるために、以下に

説明するリミット処理が施される。

#### 【0061】

図3は、モデルパラメータ  $a_1''$  及び  $a_2''$  のリミット処理を説明するための図であり、モデルパラメータ  $a_1''$  を横軸とし、モデルパラメータ  $a_2''$  を縦軸として定義される平面が示されている。モデルパラメータ  $a_1''$  及び  $a_2''$  は、同図にハッチングを付して示す安定領域の外側にあるときには、安定領域の外縁部に対応する値に変更するリミット処理が行われる。

#### 【0062】

またモデルパラメータ  $b_1''$  は、上限値  $X_{IDB1H}$  と下限値  $X_{IDB1L}$  の範囲外であるときは、上限値  $X_{IDB1H}$  または下限値  $X_{IDB1L}$  に変更するリミット処理が行われ、モデルパラメータ  $c_1''$  は、上限値  $X_{IDC1H}$  と下限値  $X_{IDC1L}$  の範囲外であるときは、上限値  $X_{IDC1H}$  または下限値  $X_{IDC1L}$  に変更するリミット処理が行われる。

#### 【0063】

以上のリミット処理（第1リミット処理）を数式では下記式（31）のように表現する。 $\theta^*(n)$  は、リミット処理後のモデルパラメータベクトルであり、その要素は下記式（32）のように表す。

$$\theta^*(n) = LMT(\theta(n)) \quad (31)$$

$$\theta^*(n)^T = [a_1^*(n), a_2^*(n), b_1^*(n), c_1^*(n)] \quad (32)$$

#### 【0064】

従来は、式（16e）により更新ベクトル  $d\theta(n)$  を算出する際に用いる、前回の更新ベクトル  $d\theta(n-1)$  と、式（19）により推定スロットル弁開度偏差量  $DTHHAT$  を算出する際に用いる前回のモデルパラメータベクトル  $\theta(n-1)$  とは、上記リミット処理を行う前のモデルパラメータを用いていたが、本実施形態では、前回の更新ベクトル  $d\theta(n-1)$  としては、下記式（33）で算出されるものを用い、推定スロットル弁開度偏差量  $DTHHAT$  の算出に使用する前回のモデルパラメータベクトルとしては、下記式（19a）に示すように、リミット処理後のモデルパラメータベクトル  $\theta^*(n-1)$  を用いることとした。

$$d\theta(n-1) = \theta^*(n-1) - \theta_{base}(n-1) \quad (33)$$

$$DTHHAT(n) = \theta^*(n-1)^T \zeta(n) \quad (19a)$$

## 【0065】

次にその理由を説明する。

モデルパラメータ  $a_1^*$  及び  $a_2^*$  で決まる座標（以下「モデルパラメータ座標」という）が図3 (b) の点PA1にある場合には、リミット処理により、モデルパラメータ座標が安定領域の外縁に位置する点PALに移動する。このときスロットル弁開度偏差量DTHが変化し、モデルパラメータ  $a_1^*$  及び  $a_2^*$  が収束すべきモデルパラメータ座標が、点PA2へ変化した場合には、点PA1から点PA2への移動は、点PALからPA2への移動に比べて遅くなる。つまり、適応スライディングモードコントローラ21による制御を、制御対象の動特性変化へ適応させる際にむだ時間が生じ、制御性が低下するおそれがある。

## 【0066】

そこで本実施形態では、リミット処理後のモデルパラメータベクトル  $\theta^*(n-1)$  を式(33)及び(19a)に適用して、今回のモデルパラメータベクトル  $\theta(n)$  を算出するようにした。

第1リミット処理後のモデルパラメータベクトル  $\theta^*(n)$  を時刻kでオーバサンプリングすることにより得られるモデルパラメータベクトル  $\theta^*(k)$  は、下記式(32a)で表される。

$$\theta^*(k)^T = [a_1^*(k), a_2^*(k), b_1^*(k), c_1^*(k)] \quad (32a)$$

## 【0067】

このオーバサンプリングしたモデルパラメータベクトル  $\theta^*(k)$  の移動平均化演算を行うことにより得られるモデルパラメータベクトル  $\theta'(k)$  を下記式(32b)で表すこととすると、 $\theta'(k)$  の要素  $a_1'(k)$ ,  $a_2'(k)$ ,  $b_1'(k)$ , 及び  $c_1'(k)$  は、下記式(34)～(37)により算出される。

$$\theta'(k)^T = [a_1'(k), a_2'(k), b_1'(k), c_1'(k)] \quad (32b)$$

## 【0068】

## 【数8】

$$a1'(k) = \sum_{i=0}^m a1^*(k-i) / (m+1) \quad (34)$$

$$a2'(k) = \sum_{i=0}^m a2^*(k-i) / (m+1) \quad (35)$$

$$b1'(k) = \sum_{i=0}^m b1^*(k-i) / (m+1) \quad (36)$$

$$c1'(k) = \sum_{i=0}^m c1^*(k-i) / (m+1) \quad (37)$$

ここで  $(m+1)$  は、移動平均化演算を行うデータの数であり、「 $m$ 」は例えば「4」に設定される。

## 【0069】

次に下記式(38)に示すように、モデルパラメータベクトル  $\theta'(k)$  に対して、前述したリミット処理と同様のリミット処理(第2リミット処理)を行うことにより、修正モデルパラメータベクトル  $\theta_L(k)$  (式(39))を算出する。移動平均化演算により、モデルパラメータ  $a1'$  及び／または  $a2'$  が、図3に示した安定領域から外れる場合があるからである。モデルパラメータ  $b1'$  及び  $c1'$  については、移動平均化演算によりリミット範囲から外れることはないので、実質的にはリミット処理は行われない。

$$\theta_L(k) = LMT(\theta'(k)) \quad (38)$$

$$\theta_L(k)^T = [a1, a2, b1, c1] \quad (39)$$

## 【0070】

次に上述した適応スライディングモードコントローラ21、モデルパラメータ同定器22、及びモデルパラメータスケジューラ25の機能を実現するための、ECU7のCPUにおける演算処理を説明する。

## 【0071】

図4は、スロットル弁開度制御の全体フローチャートであり、この処理は所定時間(例えば2 msec)毎にECU7のCPUで実行される。

ステップS11では、図5に示す状態変数設定処理を実行する。すなわち、式(2)及び(3)の演算を実行し、スロットル弁開度偏差量DTH(k)及び目標値DTHR(k)を算出する(図5、ステップS31及びS32)。なお、今回値であることを示す(k)または(n)は、省略して示す場合がある。

#### 【0072】

ステップS12では、カウンタIDCOUNTの値が「0」であるか否かを判別する。カウンタIDCOUNTは、最初は「0」に設定されているので、ステップS12からステップS14に進み、図6に示すモデルパラメータの同定演算処理、すなわちモデルパラメータベクトル $\theta(n)$ の算出処理を実行する。次いで、図9に示す第1リミット処理を実行し、モデルパラメータベクトル $\theta^*(n)$ を算出する(ステップS15)。具体的には、モデルパラメータベクトル $\theta(n)$ のリミット処理が実行され、モデルパラメータベクトル $\theta^*(n)$ が算出される。算出されたモデルパラメータベクトルの要素 $a_1^*(n)$ ,  $a_2^*(n)$ ,  $b_1^*(n)$ , 及び $c_1^*(n)$ は、オーバサンプリング処理のためにそれぞれ所定数Nずつリングバッファに格納される。すなわち、 $\theta^*(k)$ ,  $\theta^*(k+1)$ , …,  $\theta^*(k+N-1)$ が、リングバッファに格納される。所定数Nは、制御周期 $\Delta TCTL$ と同定周期 $\Delta TID$ との比( $\Delta TID/\Delta TCTL$ )であり、例えば「5」に設定される。

#### 【0073】

ステップS16では、カウンタIDCOUNTに所定数Nが設定される。したがって、本処理の次の実行時には、ステップS12の答が否定(NO)となり、カウンタIDCOUNTの値が「1」だけデクリメントされ(ステップS13)、ステップS17に進む。すなわち、ステップS14～S16の処理は、N回に1回の割合で実行される。

#### 【0074】

ステップS17では、リミット処理後のモデルパラメータベクトル $\theta^*(n)$ の移動平均化演算によりモデルパラメータベクトル $\theta'(k)$ を算出する。具体的には、前記リングバッファに格納されたモデルパラメータを式(34)～(37)に適用して、モデルパラメータ $a_1'(k)$ ,  $a_2'(k)$ ,  $b_1'(k)$ , 及び $c_1'(k)$ が算出される。

## 【0075】

ステップS18では、図14に示す第2リミット処理を実行する。すなわち、ステップS17で算出されたモデルパラメータ $a_1'(k)$ 及び $a_2'(k)$ のリミット処理が実行され、修正モデルパラメータベクトル $\theta_L(k)$ が算出される。尚、モデルパラメータ $b_1'(k)$ 及び $c_1'(k)$ は、それぞれそのまま修正モデルパラメータベクトル $\theta_L(k)$ の要素 $b_1(k)$ 及び $c_1(k)$ となる。

## 【0076】

ステップS19では、図15に示す制御入力 $U_{s1}(k)$ の演算処理を実行する。すなわち、等価制御入力 $U_{eq}(k)$ 、到達則入力 $U_{rch}(k)$ 、適応則入力 $U_{adp}(k)$ 、非線形入力 $U_{n1}(k)$ 、及びダンピング入力 $U_{damp}(k)$ を算出し、それらの入力の総和として、制御入力 $U_{s1}(k)$ (=デューティ比DUT(k))を算出する。

## 【0077】

ステップS20では、図23に示すスライディングモードコントローラの安定判別処理を実行する。すなわち、リアプロノフ関数の微分値に基づく安定判別を行い、安定判別フラグFSMCSTABの設定を行う。この安定判別フラグFSMCSTABは、制御入力 $U_{s1}(k)$ の演算実行時に参照される。

## 【0078】

ステップS21では、前記式(23)により、フィルタ処理後制御量DUTA $V(k)$ を算出する。

## 【0079】

図6は、図4のステップS14においてモデルパラメータの同定演算を行う処理のフローチャートである。

ステップS41では、式(21a)によりゲイン係数ベクトル $K_P(n)$ を算出し、次いで式(19a)により推定スロットル弁開度偏差量 $DTHHAT(n)$ を算出する(ステップS42)。

## 【0080】

ステップS43では、図8に示す $i_{de}(n)$ の演算処理を実行し、同定誤差 $i_{de}(n)$ を算出する。ステップS44では、式(16e)及び(33)により更

新ベクトル  $\theta(n)$  を算出し、次いで目標値 D T H R に応じて図 7 に示す  $\theta_{base}$  テーブルを検索し、基準モデルパラメータベクトル  $\theta_{base}$  を算出する（ステップ S 4 5）。 $\theta_{base}$  テーブルには、実際には基準モデルパラメータ  $a_1 base$  及び  $a_2 base$  が設定されており、基準モデルパラメータ  $b_1 base$  は、モデルパラメータ  $b_1$  の最小値 X IDB1L に設定される。また、基準モデルパラメータ  $c_1 base$  は、「0」に設定される。

ステップ S 4 6 では、式（16d）によりモデルパラメータベクトル  $\theta(n)$  を算出し、本処理を終了する。

#### 【0081】

図 8 は、図 6 のステップ S 4 3 で実行される同定誤差  $i_{de}(n)$  の演算処理のフローチャートである。

ステップ S 5 1 では、式（18）により同定誤差  $i_{de}(n)$  を算出する。次いで、ステップ S 5 3 でインクリメントされるカウンタ CNTIDST の値が、制御対象のむだ時間 d に応じて設定される所定値 XCNTIDST（本実施形態では、むだ時間 d を「0」と近似しているので、「2」に設定される）より大きいか否かを判別する（ステップ S 5 2）。カウンタ CNTIDST の初期値は「0」であるので、最初はステップ S 5 3 に進み、カウンタ CNTIDST を「1」だけインクリメントし、同定誤差  $i_{de}(k)$  を「0」に設定して（ステップ S 5 4）、ステップ S 5 5 に進む。モデルパラメータベクトル  $\theta(n)$  の同定を開始した直後は、式（18）による演算で正しい同定誤差が得られないので、ステップ S 5 2～S 5 4 により、式（18）による演算結果を用いずに同定誤差  $i_{de}(n)$  を「0」に設定するようにしている。

#### 【0082】

ステップ S 5 2 の答が肯定（YES）となると、直ちにステップ S 5 5 に進む。

ステップ S 5 5 では、同定誤差  $i_{de}(n)$  のローパスフィルタ処理を行う。すなわち、制御対象モデルの周波数特性を修正するための処理が実行される。

#### 【0083】

ステップ S 5 6 では、同定誤差  $i_{de}(n)$  が所定上限値 IDEMAX（例えば

0. 2) より大きいか否かを判別し、 $i_d e(n) > IDEMAX$ であるときは、同定誤差  $i_d e(n)$ をその所定上限値 IDEMAXに設定する（ステップS57）。

ステップS56で同定誤差  $i_d e(n)$ が所定上限値 IDEMAX以下であるときは、同定誤差  $i_d e(n)$ が所定下限値 IDEMIN（例えば-0.15）より小さいか否かを判別する（ステップS58）。 $i_d e(n) < IDEMIN$ であるときは、同定誤差  $i_d e(n)$ をその所定下限値 IDEMINに設定する（ステップS59）。

ステップS58の答が否定（NO）であるときは、直ちに本処理を終了する。

#### 【0084】

図9は、図4のステップS15で実行される第1リミット処理のフローチャートである。

ステップS71では、この処理で使用されるフラグ FA1STAB, FA2STAB, FB1LMT及びFC1LMTをそれぞれ「0」に設定することにより、初期化を行う。そして、ステップS72では、図10に示す  $a_1''$  及び  $a_2''$  のリミット処理を実行し、ステップS73では、図12に示す  $b_1''$  のリミット処理を実行し、ステップS74では、図13に示す  $c_1''$  のリミット処理を実行する。

#### 【0085】

図10は、図9のステップS72で実行される  $a_1''$  及び  $a_2''$  のリミット処理のフローチャートである。図11は、図10の処理を説明するための図であり、図10とともに参照する。

図11においては、リミット処理が必要なモデルパラメータ  $a_1''$  と  $a_2''$  の組み合わせが「×」で示され、また安定なモデルパラメータ  $a_1''$  及び  $a_2''$  の組み合わせの範囲がハッチングを付した領域（以下「安定領域」という）で示されている。図10の処理は、安定領域外にあるモデルパラメータ  $a_1''$  及び  $a_2''$  の組み合わせを、安定領域内（「○」で示す位置）に移動させる処理である。

#### 【0086】

ステップS81では、モデルパラメータ  $a_2''$  が、所定  $a_2$  下限値 XIDA2

$L$ 以上か否かを判別する。所定  $a_2$  下限値  $XIDA2L$  は、「-1」より大きい負の値に設定される。所定  $a_2$  下限値  $XIDA2L$  は、「-1」に設定しても、安定なモデルパラメータ  $a_1^*$ ,  $a_2^*$  が得られるが、下記式(40)で定義される行列  $A$  の  $n$  乗が不安定となる（これは、 $a_1''$  及び  $a_2''$  が発散はしないが振動することを意味する）場合があるので、「-1」より大きな値に設定される。

## 【数9】

$$A = \begin{bmatrix} a_1^* & a_2^* \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (40)$$

## 【0087】

ステップ S81 で  $a_2'' < XIDA2L$  であるときは、モデルパラメータ  $a_2^*$  を、この下限値  $XIDA2L$  に設定するとともに、 $a_2$  安定化フラグ  $F A 2 S T A B$  を「1」に設定する（ステップ S82）。 $a_2$  安定化フラグ  $F A 2 S T A B$  は「1」に設定されると、モデルパラメータ  $a_2^*$  を下限値  $XIDA2L$  に設定したことを示す。図11においては、ステップ S81 及び S82 のリミット処理 P1 によるモデルパラメータの修正が、「P1」を付した矢線（矢印を付した線）で示されている。

## 【0088】

ステップ S81 の答が肯定（YES）、すなわち  $a_2'' \geq XIDA2L$  であるときは、モデルパラメータ  $a_2^*$  はモデルパラメータ  $a_2''$  に設定される（ステップ S83）。

ステップ S84 及びステップ S85 では、モデルパラメータ  $a_1''$  が、所定  $a_1$  下限値  $XIDA1L$  と所定  $a_1$  上限値  $XIDA1H$  できる範囲内にあるか否かを判別する。所定  $a_1$  下限値  $XIDA1L$  は、-2 以上且つ 0 より小さい値に設定され、所定  $a_1$  上限値  $XIDA1H$  は、例えば 2 に設定される。

## 【0089】

ステップ S84 及び S85 の答がいずれも肯定（YES）であるとき、すなわち  $XIDA1L \leq a_1'' \leq XIDA1H$  であるときは、モデルパラメータ  $a_1^*$  はモデルパラメータ  $a_1''$  に設定される（ステップ S88）。

一方  $a_1^* < XIDA1L$  であるときは、モデルパラメータ  $a_1^*$  を下限値  $XIDA1L$  に設定するとともに、 $a_1$  安定化フラグ  $FA1STAB$  を「1」に設定する（ステップ S84, S86）。また  $a_1^* > XIDA1H$  であるときは、モデルパラメータ  $a_1^*$  を上限値  $XIDA1H$  に設定するとともに、 $a_1$  安定化フラグ  $FA1STAB$  を「1」に設定する（ステップ S85, S87）。 $a_1$  安定化フラグ  $FA1STAB$  は、「1」に設定されると、モデルパラメータ  $a_1^*$  を下限値  $XIDA1L$  または上限値  $XIDA1H$  に設定したことを示す。図11においては、ステップ S84～S87のリミット処理 P2によるモデルパラメータの修正が、「P2」を付した矢線で示されている。

## 【0090】

ステップ S90では、モデルパラメータ  $a_1^*$  の絶対値とモデルパラメータ  $a_2^*$  の和が、所定安定判定値  $XA2STAB$  以下であるか否かを判別する。所定安定判定値  $XA2STAB$  は、「1」に近く「1」より小さい値（例えば 0.99）に設定される。

## 【0091】

図11に示す直線 L1 及び L2 は、下記式（41）を満たす直線である。

$$a_2^* + |a_1^*| = XA2STAB \quad (41)$$

したがって、ステップ S90は、モデルパラメータ  $a_1^*$  及び  $a_2^*$  の組み合せが、図11に示す直線 L1 及び L2 の線上またはその下側にあるか否かを判別している。ステップ S90の答が肯定（YES）であるときは、モデルパラメータ  $a_1^*$  及び  $a_2^*$  の組み合せは、図11の安定領域内にあるので、直ちに本処理を終了する。

## 【0092】

一方ステップ S90の答が否定（NO）であるときは、モデルパラメータ  $a_1^*$  が、所定安定判定値  $XA2STAB$  から所定  $a_2$  下限値  $XIDA2L$  を減算した値 ( $XIDA2L < 0$  であるので、 $XA2STAB - XIDA2L > XA2STAB$  が成立する) 以下か否かを判別する（ステップ S91）。そしてモデルパラメータ  $a_1^*$  が ( $XA2STAB - XIDA2L$ ) 以下であるときは、モデルパラメータ  $a_2^*$  を ( $XA2STAB - |a_1^*|$ ) に設定するとともに、 $a_2$  安

定化フラグFA2STABを「1」に設定する（ステップS92）。

#### 【0093】

ステップS91でモデルパラメータ $a_1^*$ が（XA2STAB-XIDA2L）より大きいときは、モデルパラメータ $a_1^*$ を（XA2STAB-XIDA2L）に設定し、モデルパラメータ $a_2^*$ を所定 $a_2$ 下限値XIDA2Lに設定するとともに、 $a_1$ 安定化フラグFA1STAB及び $a_2$ 安定化フラグFA2STABをともに「1」に設定する（ステップS93）。

#### 【0094】

図11においては、ステップS91及びS92のリミット処理P3によるモデルパラメータの修正が、「P3」を付した矢線で示されており、またステップS91及びS93のリミット処理P4によるモデルパラメータの修正が、「P4」を付した矢線で示されている。

#### 【0095】

以上のように図10の処理により、モデルパラメータ $a_1''$ 及び $a_2''$ が図11に示す安定領域内に入るようにリミット処理が実行され、モデルパラメータ $a_1^*$ 及び $a_2^*$ が算出される。

#### 【0096】

図12は、図9のステップS73で実行される $b_1''$ のリミット処理のフローチャートである。

ステップS101及びS102では、モデルパラメータ $b_1''$ が、所定 $b_1$ 下限値XIDB1Lと所定 $b_1$ 上限値XIDB1Hできる範囲内にあるか否かを判別する。所定 $b_1$ 下限値XIDB1Lは、正の所定値（例えば0.1）に設定され、所定 $b_1$ 上限値XIDB1Hは、例えば「1」に設定される。

#### 【0097】

ステップS101及びS102の答がいずれも肯定（YES）であるとき、すなわち $XIDB1L \leq b_1'' \leq XIDB1H$ であるときは、モデルパラメータ $b_1^*$ はモデルパラメータ $b_1''$ に設定される（ステップS105）。

#### 【0098】

一方 $b_1'' < XIDB1L$ であるときは、モデルパラメータ $b_1^*$ を下限値X

IDB1Lに設定するとともに、b1リミットフラグFB1LMTを「1」に設定する（ステップS101, S104）。また $b1'' > XIDB1H$ であるときは、モデルパラメータ $b1^*$ を上限値XIDB1Hに設定するとともに、b1リミットフラグFB1LMTを「1」に設定する（ステップS102, S103）。 $b1$ リミットフラグFB1LMTは、「1」に設定されると、モデルパラメータ $b1^*$ を下限値XIDB1Lまたは上限値XIDB1Hに設定したことを示す。

## 【0099】

図13は、図9のステップS74で実行されるモデルパラメータ $c1''$ のリミット処理のフローチャートである。

ステップS111及びS112では、モデルパラメータ $c1''$ が、所定 $c1$ 下限値XIDC1Lと所定 $c1$ 上限値XIDC1Hできまる範囲内にあるか否かを判別する。所定 $c1$ 下限値XIDC1Lは、例えば-60に設定され、所定 $c1$ 上限値XIDC1Hは、例えば60に設定される。

## 【0100】

ステップS111及びS112の答がいずれも肯定（YES）であるとき、すなわち $XIDC1L \leq c1'' \leq XIDC1H$ であるときは、モデルパラメータ $c1^*$ はモデルパラメータ $c1''$ に設定される（ステップS115）。

## 【0101】

一方 $c1'' < XIDC1L$ であるときは、モデルパラメータ $c1^*$ を下限値XIDC1Lに設定するとともに、 $c1$ リミットフラグFC1LMTを「1」に設定する（ステップS111, S114）。また $c1'' > XIDC1H$ であるときは、モデルパラメータ $c1^*$ を上限値XIDC1Hに設定するとともに、 $c1$ リミットフラグFC1LMTを「1」に設定する（ステップS112, S113）。 $c1$ リミットフラグFC1LMTは、「1」に設定されると、修正モデルパラメータ $c1$ を下限値XIDC1Lまたは上限値XIDC1Hに設定したことを示す。

## 【0102】

図14は、図4のステップS18で実行される第2リミット処理のフローチャ

ートである。この処理は、図10の処理の「a 1」及び「a 2」をそれぞれ「a 1'」及び「a 2'」に置換し、「a 1<sup>\*</sup>」及び「a 2<sup>\*</sup>」をそれぞれ「a 1」及び「a 2」に置換したものであり、処理の内容は実質的に同一である。すなわち、移動平均化処理されたモデルパラメータ a 1' 及び a 2' について、図10と同様のリミット処理がステップS121～S133で実行され、修正モデルパラメータ a 1 及び a 2 が算出される。

#### 【0103】

図15は、図4のステップS19で実行されるUs1算出処理のフローチャートである。

ステップS201では、図16に示す切換関数値σの演算処理を実行し、ステップS202では、前記式(8a)により、等価制御入力Ueqを算出する。ステップS203では、図19に示す到達則入力Urchの演算処理を実行し、ステップS204では、図20に示す適応則入力Uadpの演算処理を実行する。ステップS205では、図21に示す非線形入力Unlの演算処理を実行し、ステップS207では、図22に示すダンピング入力Udampの演算処理を実行する。

#### 【0104】

ステップS208では、後述する図23の処理で設定される安定判別フラグFSMCSTABが「1」であるか否かを判別する。安定判別フラグFSMCSTABは、「1」に設定されると、適応スライディングモードコントローラ21が不安定となっていることを示す。

#### 【0105】

ステップS208でFSMCSTAB=0であって適応スライディングモードコントローラ21が安定であるときは、ステップS202～S207で算出された制御入力Ueq, Urch, Uadp, Unl, 及びUdampを加算することにより、制御入力Us1を算出する(ステップS209)。

#### 【0106】

一方FSMCSTAB=1であって適応スライディングモードコントローラ21が不安定となっているときは、到達則入力Urch及び適応則入力Uadpの

和を、制御入力  $U_{s1}$  として算出する。すなわち、等価制御入力  $U_{eq}$ 、非線形入力  $U_{nl}$ 、及びダンピング入力  $U_{damp}$  を、制御入力  $U_{s1}$  の算出に使用しないようにする。これにより、制御系が不安定化することを防止することができる。

#### 【0107】

続くステップ S211 及び S212 では、算出した制御入力  $U_{s1}$  が所定上下限値  $X_{USLH}$  及び  $X_{USLL}$  の範囲内にあるか否かを判別し、制御入力  $U_{s1}$  が所定上下限値の範囲内にあるときは、直ちに本処理を終了する。一方、制御入力  $U_{s1}$  が所定下限値  $X_{USLL}$  以下であるときは、制御入力  $U_{s1}$  を所定下限値  $X_{USLL}$  に設定し（ステップ S211, S214）、制御入力  $U_{s1}$  が所定上限値  $X_{USLH}$  以上であるときは、制御入力  $U_{s1}$  を所定上限値  $X_{USLH}$  に設定する（ステップ S212, S213）。

#### 【0108】

図16は、図15のステップ S201で実行される切換関数値  $\sigma$  の演算処理のフローチャートである。

ステップ S221 では、図17に示す VPOLE 演算処理実行し、切換関数設定パラメータ VPOLE を算出する。次いで前記式（5a）により、切換関数値  $\sigma(k)$  を算出する（ステップ S222）。

#### 【0109】

続くステップ S223 及び S224 では、算出した切換関数値  $\sigma(k)$  が所定上下限値  $X_{SGMH}$  及び  $X_{SGML}$  の範囲内にあるか否かを判別し、切換関数値  $\sigma(k)$  が所定上下限値の範囲内にあるときは、直ちに本処理を終了する。一方、切換関数値  $\sigma(k)$  が所定下限値  $X_{SGML}$  以下であるときは、切換関数値  $\sigma(k)$  を所定下限値  $X_{SGML}$  に設定し（ステップ S223, S225）、切換関数値  $\sigma(k)$  が所定上限値  $X_{SGMH}$  以上であるときは、切換関数値  $\sigma(k)$  を所定上限値  $X_{SGMH}$  に設定する（ステップ S224, S226）。

#### 【0110】

図17は、図16のステップ S221で実行される VPOLE 演算処理のフローチャートである。

ステップS231では、安定判別フラグFSMCSTABが「1」であるか否かを判別し、FSMCSTAB=1であって適応スライディングモードコントローラ21が不安定となっているときは、切換関数設定パラメータVPOLEを安定化所定値XPOLESTBに設定する（ステップS232）。安定化所定値XPOLESTBは、「-1」より大きく「-1」に非常に近い値（例えば-0.999）に設定される。

#### 【0111】

FSMCSTAB=0であって適応スライディングモードコントローラ21が安定であるときは、スロットル弁開度偏差量DTHに応じて図18に示すVPOLEテーブルを検索し、切換関数設定パラメータVPOLEを算出する（ステップS234）。VPOLEテーブルは、スロットル弁開度偏差量DTHが0近傍の値をとるとき（スロットル弁開度THがデフォルト開度THDEF近傍の値をとるとき）、VPOLE値が増加し、0近傍以外の値ではスロットル弁開度偏差量DTHの変化に対してはほぼ一定の値となるように設定されている。したがって、スロットル弁開度THがデフォルト開度THDEF近傍にあるときは、切換関数設定パラメータVPOLEが比較的大きな値に設定され、デフォルト開度THDEF近傍における制御性を向上させることができる。

#### 【0112】

続くステップS235及びS236では、算出した切換関数設定パラメータVPOLEが所定上下限値XPOLEH及びXPOLELの範囲内にあるか否かを判別し、切換関数設定パラメータVPOLEが所定上下限値の範囲内にあるときは、直ちに本処理を終了する。一方、切換関数設定パラメータVPOLEが所定下限値XPOLEL以下であるときは、切換関数設定パラメータVPOLEを所定下限値XPOLELに設定し（ステップS236, S238）、切換関数設定パラメータVPOLEが所定上限値XPOLEH以上であるときは、切換関数設定パラメータVPOLEを所定上限値XPOLEHに設定する（ステップS235, S237）。

#### 【0113】

図19は、図15のステップS203で実行される到達則入力Urchの演算

処理のフローチャートである。

ステップS251では、切換関数値 $\sigma$ が所定下限値-XSGMSL以下であるか否かを判別し、 $\sigma \leq -XSGMSL$ であるときは、切換関数パラメータSGMSをその所定下限値-XSGMSLに設定する（ステップS252）。 $\sigma > -XSGMSL$ であるときは、切換関数値 $\sigma$ が所定上限値XSGMSL以上であるか否かを判別する（ステップS253）。そして、 $\sigma \geq XSGMSL$ であるときは、切換関数パラメータSGMSをその上限値XSGMSLに設定する（ステップS254）。また切換関数値 $\sigma$ が所定下限値-XSGMSLと所定上限値XSGMSLとの間にあるときは、切換関数パラメータSGMSを切換関数値 $\sigma$ に設定する（ステップS255）。

#### 【0114】

ステップS251～S255により、到達則入力U<sub>rch</sub>の算出に使用する切換関数値 $\sigma$ のリミット処理が行われる。切換関数パラメータSGMSは、リミット処理後の切換関数値 $\sigma$ に相当するパラメータである。このリミット処理により、目標値DTHRが急変した場合において、スロットル弁開度偏差量DTHの目標値DTHRに対するオーバーシュートが発生することを防止することができる。

#### 【0115】

続くステップS261では、安定判別フラグFSMCSTABが「1」であるか否かを判別する。安定判別フラグFSMCSTABが「0」であって適応スライディングモードコントローラ21が安定であるときは、切換関数値 $\sigma$ に応じて制御ゲインFを設定する（ステップS262）。

#### 【0116】

次いで、下記式(42)に、切換関数パラメータSGMS、制御ゲインFを適用して、到達則入力U<sub>rch</sub>(k)を算出する（ステップS263）。式(42)は、前記式(9)の切換関数値 $\sigma$ (k)を切換関数パラメータSGMSに置き換えたものである。

$$U_{rch} = -F \times SGMS / b_1 \quad (42)$$

一方安定判別フラグFSMCSTABが「1」であって適応スライディングモードコントローラ21が不安定となったときは、制御ゲインFを、所定安定化ゲ

インXKRCNSTBに設定し（ステップS264）、モデルパラメータ $b_1$ を使わない下記式（43）により到達則入力U<sub>rch</sub>を算出する（ステップS265）。

$$U_{rch} = -F \times SGM_S \quad (43)$$

#### 【0117】

続くステップS266及びS267では、算出した到達則入力U<sub>rch</sub>が所定上下限値XURCHH及びXURCHLの範囲内にあるか否かを判別し、到達則入力U<sub>rch</sub>が所定上下限値の範囲内にあるときは、直ちに本処理を終了する。一方、到達則入力U<sub>rch</sub>が所定下限値XURCHL以下であるときは、到達則入力U<sub>rch</sub>を所定下限値XURCHLに設定し（ステップS266, S268）、到達則入力U<sub>rch</sub>が所定上限値XURCHH以上であるときは、到達則入力U<sub>rch</sub>を所定上限値XURCHHに設定する（ステップS267, S269）。

#### 【0118】

このように適応スライディングモードコントローラ21が不安定となったときは、制御ゲインFを所定安定化ゲインXKRCNSTBに設定するとともに、モデルパラメータ $b_1$ を使用しないで到達則入力U<sub>rch</sub>を算出することにより、適応スライディングモードコントローラ21を安定な状態に戻すことができる。モデルパラメータ同定器22による同定が不安定となった場合に、適応スライディングモードコントローラ21が不安定となるので、不安定となったモデルパラメータ $b_1$ を使わないことによって、適応スライディングモードコントローラ21を安定化することができる。

#### 【0119】

図20は、図15のステップS204で実行される適応則入力U<sub>adp</sub>の演算処理のフローチャートである。

ステップS271では、切換関数値 $\sigma$ が所定下限値-XSGMSL以下であるか否かを判別し、 $\sigma \leq -XSGMSL$ であるときは、切換関数パラメータSGMSをその所定下限値-XSGMSLに設定する（ステップS272）。 $\sigma > -XSGMSL$ であるときは、切換関数値 $\sigma$ が所定上限値XSGMSL以上であるか

否かを判別する（ステップS273）。そして、 $\sigma \geq XSGMSL$ であるときは、切換関数パラメータSGMSをその上限値XSGMSLに設定する（ステップS274）。また切換関数値 $\sigma$ が所定下限値-XSGMSLと所定上限値XSGMSLとの間にあるときは、切換関数パラメータSGMSを切換関数値 $\sigma$ に設定する（ステップS275）。

## 【0120】

ステップS271～S275により、適応則入力Uadpに使用する切換関数値 $\sigma$ のリミット処理が行われる。切換関数パラメータSGMSは、リミット処理後の切換関数値 $\sigma$ に相当するパラメータである。このリミット処理により、目標値DTHRが急変した場合において、スロットル弁開度偏差量DTHの目標値DTHRに対するオーバーシュートが発生することを防止することができる。

## 【0121】

続くステップS276では、安定判別フラグFSMCSTABが「1」であるか否かを判別し、 $FSMCSTAB = 0$ であって適応スライディングモードコントローラ21が安定であるときは、切換関数値 $\sigma$ に応じて制御ゲインGを設定する（ステップS279）。

## 【0122】

次いで下記式（44）に切換関数パラメータSGMS、制御ゲインGを適用して、適応則入力Uadp(k)を算出する（ステップS280）。式（44）は、前記式（10）の切換関数値 $\sigma(k)$ を切換関数パラメータSGMSに置き換えたものである。

$$Uadp(k) = Uadp(k-1) - G \times SGMS \times \Delta TCTL / b_1 \quad (44)$$

## 【0123】

一方ステップS276で $FSMCSTAB = 1$ であって適応スライディングモードコントローラ21が不安定であるときは、制御ゲインGを所定安定化ゲインXKADPSTBに設定し（ステップS277）、下記式（45）により、適応則入力Uadp(k)を算出する（ステップS278）。式（45）は式（44）のモデルパラメータ $b_1$ を削除することにより得られる式である。

$$Uadp(k) = Uadp(k-1) - G \times SGMS \times \Delta TCTL \quad (45)$$

## 【0124】

続くステップS281及びS282では、算出した適応則入力Uadpが所定上下限値XUADPH及びXUADPLの範囲内にあるか否かを判別し、適応則入力Uadpが所定上下限値の範囲内にあるときは、直ちに本処理を終了する。一方、適応則入力Uadpが所定下限値XUADPL以下であるときは、適応則入力Uadpを所定下限値XUADPLに設定し（ステップS282, S284）、適応則入力Uadpが所定上限値XUADPH以上であるときは、適応則入力Uadpを所定上限値XUADPHに設定する（ステップS281, S283）。

## 【0125】

図21は、図15のステップS205で実行される非線形入力Unlの演算処理のフローチャートである。

ステップS301では、スロットル弁開度偏差量DTHに応じて非線形入力ゲインKn1を算出する。ステップS302では、切換関数値σが所定下限値-XNLT<sub>H</sub>以下であるか否かを判別し、σ>-XNLT<sub>H</sub>であるときは、切換関数値σが所定上限値XNLT<sub>H</sub>以上であるか否かを判別する（ステップS304）。切換関数値σが所定上限値XNLT<sub>H</sub>と所定下限値-XNLT<sub>H</sub>の間にあるときは、非線形入力パラメータSNLを切換関数値σに設定する（ステップS306）。

## 【0126】

切換関数値σが所定下限値-XNLT<sub>H</sub>以下であるときは、非線形入力パラメータSNLを「-1」に設定し（ステップS303）、切換関数値σが所定上限値XNLT<sub>H</sub>以上であるときは、非線形入力パラメータSNLを「1」に設定する（ステップS305）。

続くステップS307では、下記式（46）により、非線形入力Unl(k)を算出する。

$$Unl(k) = -Kn1 \times SNL / b1 \quad (46)$$

## 【0127】

図21の処理では、前記式（11）の符号関数sgn(σ(k))に代えて、非

線形入力パラメータ S N L を用い、切換関数値  $\sigma$  の絶対値が小さい所定範囲内では、切換関数値  $\sigma$  をそのまま適用される。これにより、非線形入力 U n 1 に起因する微少振動（チャタリング）を抑制することができる。

#### 【0128】

図22は、図15のステップ S 207で実行されるダンピング入力 U d a m p の演算処理のフローチャートである。

#### 【0129】

ステップ S 331 では、前記式(15)により、目標値 D T H R の変化量の移動平均値 D D T H R A V を算出する。ステップ S 332 では、スロットル弁開度偏差量 D T H に応じてダンピング制御ゲインの基本値 K d a m p b s を算出する。ステップ S 333 では、移動平均値 D D T H R A V に応じてダンピング制御ゲインの補正係数 K k d a m p を算出する。

#### 【0130】

ステップ S 334 では、基本値 K d a m p b s に補正係数 K k d a m p を乗算することによりダンピング制御ゲイン K d a m p を算出する。次いで下記式(13)（再掲）により、ダンピング入力 U d a m p (k) を算出する。

$$U_{damp}(k) = -K_{damp} \times (DTH(k) - DTH(k-1)) / b_1$$

(13)

#### 【0131】

図23は、図4のステップ S 20 で実行されるスライディングモードコントローラの安定判別処理のフローチャートである。この処理では、リアプローフ関数の微分項に基づく安定判別を行い、安定判別結果に応じて安定判別フラグ F S M C S T A B の設定を行う。

#### 【0132】

ステップ S 351 では下記式(50)により、切換関数変化量 D  $\sigma$  を算出し、次いで下記式(51)により、安定性判別パラメータ S G M S T A B を算出する（ステップ S 352）。

$$D\sigma = \sigma(k) - \sigma(k-k_0) \quad (50)$$

$$S G M S T A B = D\sigma \times \sigma(k) \quad (51)$$

## 【0133】

ステップS353では、安定性判別パラメータSGMSTABが安定性判定閾値XSGMSTAB以下か否かを判別し、 $SGMSTAB > XSGMSTAB$ であるときは、コントローラ21が不安定である可能性があると判定して不安定検知カウンタCNTSMCSTを「1」だけインクリメントする（ステップS355）。また、 $SGMSTAB \leq XSGMSTAB$ であるときは、コントローラ21が安定であると判定して不安定検知カウンタCNTSMCSTのカウント値をインクリメントすることなく保持する（ステップS354）。

## 【0134】

ステップS356では、不安定検知カウンタCNTSMCSTの値が所定カウント値XSSTAB以下か否かを判別する。 $CNTSMCST \leq XSSTAB$ であるときは、コントローラ21は安定していると判定し、第1判定フラグFSMCSTAB1を「0」に設定する（ステップS357）。一方 $CNTSMCST > XSSTAB$ であるときは、コントローラ21は不安定となっていると判定し、第1判定フラグFSMCSTAB1を「1」に設定する（ステップS358）。なお、不安定検知カウンタCNTSMCSTは、イグニッシュョンスイッチオン時にそのカウント値が「0」に初期化される。

## 【0135】

続くステップS359では、安定判別期間カウンタCNTJUDSTを「1」だけデクリメントし、次いでその安定判別期間カウンタCNTJUDSTの値が「0」であるか否かを判別する（ステップS360）。安定判別期間カウンタCNTJUDSTは、イグニッシュョンスイッチオン時に所定判別カウント値XCJUDSTに初期化される。したがって、最初はステップS360の答は否定（NO）となり、直ちにステップS365に進む。

## 【0136】

その後安定判別期間カウンタCNTJUDSTが「0」となると、ステップS360からステップS361に進み、第1判定フラグFSMCSTAB1が「1」であるか否かを判別する。そして、第1判定フラグFSMCSTAB1が「0」であるときは、第2判定フラグFSMCSTAB2を「0」に設定し（ステッ

PS363)、第1判定フラグFSMCSTAB1が「1」であるときは、第2判定フラグFSMCSTAB2を「1」に設定する(ステップS362)。

#### 【0137】

続くステップS364では、安定判別期間カウンタCNTJUDSTの値を所定判別カウント値XCJUDSTに設定するとともに、不安定検知カウンタCNTSMCSTの値を「0」に設定し、ステップS365に進む。

ステップS365では、安定判別フラグFSMCSTABを、第1判定フラグFSMCSTAB1と第2判定フラグFSMCSTAB2の論理和に設定する。第2判定フラグFSMCSTAB2は、ステップS356の答が肯定(YES)となり、第1判定フラグFSMCSTAB1が「0」に設定されても、安定判別期間カウンタCNTJUDSTの値が「0」となるまでは、「1」に維持される。したがって、安定判別フラグFSMCSTABも、安定判別期間カウンタCNTJUDSTの値が「0」となるまでは、「1」に維持される。

#### 【0138】

次に図26は、モデルパラメータの同定に制御量DUTをそのまま使用した場合のステップ応答特性を示すタイムチャートである。

目標値DTHRがステップ状に変化した場合には、制御量DUTの変動により同定誤差が大きく変動し、同定されるモデルパラメータの変動が大きくなる。その結果、制御出力であるスロットル弁開度偏差量DTHが振動する。

#### 【0139】

図27は、モデルパラメータの同定にフィルタ処理後制御量DUTAVを使用した場合のステップ応答特性を示す。

制御量DUTに比べて、フィルタ処理後制御量DUTAVは緩やかに変化し、同定誤差の変動が小さくなる。その結果、同定されるモデルパラメータの変動も小さくなって、スロットル弁開度偏差DTHの振動がなくなり、良好な制御特性が得られる。

#### 【0140】

本実施形態では、ECU7がコントローラを構成する。より具体的には、図4のステップS19(図15の処理)がコントローラに相当する。

## 【0141】

(第2の実施形態)

図24は、本発明の第2の実施形態にかかるプラントの制御装置、すなわち油圧位置決め装置と、その制御装置の構成を示す図である。このような油圧位置決め装置は、例えば内燃機関の吸排気弁のバルブタイミングを連続的に変化させる連続可変バルブタイミング機構に使用される。連続可変バルブタイミング機構は、吸排気弁を駆動するカムの回転位相を変更することにより、吸排気弁の開閉タイミングをずらし、充填効率の向上とポンピングロスの低減を図るものである。

## 【0142】

油圧位置決め装置は、ピストン64と、ピストン64が嵌装された油圧シリンダ61と、電動スプール弁67と、油圧ポンプ65と、油圧ポンプ65から電動スプール弁67に油圧を供給する油圧供給路66と、第1の油圧P1を油圧シリンダ61の第1油圧室62に供給する第1の油路68と、第2の油圧P2を油圧シリンダ61の第2油圧室63に供給する第2の油路69と、電動スプール弁67から排出される作動油をオイルパン(図示せず)に戻す油圧放出路70とを備えている。

## 【0143】

またピストン64の位置PACTを検出するポテンショメータ71が設けられており、検出位置PACTを示す信号が電子制御ユニット(ECU)72に供給される。

ECU72には、目標位置PCMDが入力され、ECU72は、検出位置PACTを目標位置PCMDに一致させるように、制御量DUTを算出し、制御量DUTに応じた電気信号を電動スプール弁67へ供給する。

## 【0144】

電動スプール弁67は、制御量DUTに応じて弁体(図示せず)の位置を移動させ、弁体の位置に応じた第1及び第2の油圧P1、P2を出力する。第1及び第2の油圧P1、P2の差圧DP( $= P1 - P2$ )が正の値であるときは、ピストン64は図の右方向へ移動し、逆に差圧DPが負の値であるときは、ピストン64は図の左方向へ移動する。検出位置PACTが目標位置PCMDに一致した

状態では、差圧DPは「0」に保持される。

#### 【0145】

図25は、図24に示す油圧位置決め装置を適応スライディングモードコントローラを用いて制御する場合の制御系の構成を示すブロック図である。

制御装置80は、同定器81と、適応スライディングモードコントローラ82と、スケジューラ83と、減算器85及び86と、フィルタ87とからなり、ECU72のCPUで実行される演算処理により実現される。

#### 【0146】

減算器85は、検出位置PACTから基準値PBASEを減算することにより、検出位置偏差量DPACTを算出し、減算器86は、目標位置PCMDから基準値PBASEを減算することにより、目標値DPCMDを算出する。なお、基準値PBASEは、油圧位置決め装置の作動特性に基づいて予め最適な値に設定される。

#### 【0147】

本実施形態における検出位置PACT及び検出位置偏差量DPACTが、第1の実施形態におけるスロットル弁開度TH及びスロットル弁開度偏差量DTHに対応し、目標位置PCMD及び目標値DPCMDが、それぞれ第1の実施形態における目標開度THR及び目標値DTHRに対応する。

フィルタ87は、制御量DUTの高周波成分を減衰させるフィルタ処理を行う。より具体的には、制御量DUTの移動平均化演算により、フィルタ処理後制御量DUTAVが算出され、同定器81に入力される。

#### 【0148】

スケジューラ83は、第1の実施形態におけるモデルパラメータスケジューラ25と同様に、目標値DPCMDに応じて基準モデルパラメータベクトル $\theta_{base}$ を算出し、その基準モデルパラメータベクトル $\theta_{base}$ を同定器81に供給する。

#### 【0149】

同定器81は、制御入力としての制御量DUTに対応するフィルタ処理後制御量DUTAV及び制御出力としての検出位置偏差量DPACTに応じて、第1の

実施形態のモデルパラメータ同定器22と同様に、修正モデルパラメータベクトル $\theta_L(k)$ を算出する。すなわち、同定誤差 $i_d e(n)$ が下記式(52)及び(53)により算出される。ここで、入出力パラメータベクトル $\zeta(n)$ は、下記式(54)で定義される。

$$i_d e(n) = D P A C T(n)(k) - D P A C T H A T(n) \quad (52)$$

$$D P A C T H A T(n) = \theta^*(n-1)^T \zeta(n) \quad (53)$$

$$\zeta^T(n) =$$

$$[D P A C T(n-1), D P A C T(n-2), D U T A V(n-1), 1] \quad (54)$$

#### 【0150】

そして同定誤差 $i_d e(n)$ を前記式(30)に適用するとともに、前記式(14f)、(14g)、(19b)及び(33)を用いることにより、モデルパラメータベクトル $\theta(n)$ が算出される。さらに算出されたモデルパラメータベクトル $\theta(n)$ に対して、第1の実施形態と同様の第1リミット処理を行うことにより、モデルパラメータベクトル $\theta^*(n)$ が算出される。さらにモデルパラメータベクトル $\theta^*(n)$ のオーバサンプリング及び移動平均化処理を行うことにより、モデルパラメータベクトル $\theta'(k)$ を算出し、モデルパラメータベクトル $\theta'(k)$ に対して第1の実施形態と同様に第2リミット処理を行うことにより、修正モデルパラメータベクトル $\theta_L(k)$ が算出される。

#### 【0151】

適応スライディングモードコントローラ82は、第1の実施形態の適応スライディングモードコントローラ21と同様に、検出位置偏差量 $D P A C T$ を下記式(55)に適用して、等価制御入力 $U_{eq}(k)$ を算出する。さらに適応スライディングモードコントローラ82は、下記式(56)により切換関数値 $\sigma(k)$ を算出し、前記式(9)及び(10c)に切換関数値 $\sigma(k)$ を適用して、到達則入力 $U_{rch}(k)$ 及び適応則入力 $U_{adp}(k)$ を算出する。ただし、切換関数設定パラメータ $V P O L E$ 、制御ゲイン $F$ 及び $G$ の設定は、本実施形態の制御対象（油圧位置決め装置）に適したものとする。

$$U_{eq}(k) = (1/b_1) \{(1-a_1-V P O L E) D P A C T(k) + (V P O L E - a_2) D P A C T(k-k_0) - c_1\} \quad (55)$$

$$\begin{aligned}\sigma(k) = & (D P A C T(k) - D P C M D(k)) \\ & + V P O L E (D P A C T(k-k_0) - D P C M D(k-k_0))\end{aligned}\quad (56)$$

## 【0152】

さらに適応スライディングモードコントローラ82は、式(56)により算出される切換関数値 $\sigma(k)$ を前記式(22)に適用して、非線形入力 $U_{n1}(k)$ を算出する。ただし、非線形入力ゲイン $K_{n1}$ の設定は、本実施形態の制御対象に適したものとする。

## 【0153】

さらに適応スライディングモードコントローラ82は、下記式(57)によりダンピング入力 $U_{damp}(k)$ を算出する。ただし、ダンピング制御ゲイン $K_{damp}$ の設定は、本実施形態の制御対象に適したものとする。

$$U_{damp}(k) = -K_{damp} \times (D A C T(k) - D A C T(k-1)) / b_1 \quad (57)$$

そして、適応スライディングモードコントローラ82は、等価制御入力 $U_{eq}$ 、到達則入力 $U_{rch}(k)$ 、適応則入力 $U_{adp}(k)$ 、非線形入力 $U_{n1}(k)$ 、及びダンピング入力 $U_{damp}(k)$ を加算することにより、制御入力 $U_{s1}$ (=DUT)を算出する。

## 【0154】

したがって、制御装置80によれば、第1の実施形態における制御出力 $T_H$ 及び目標開度 $T_{HR}$ を、それぞれ制御出力 $PACT$ 及び目標位置 $PCMD$ に置き換えた制御が実行されるので、第1の実施形態と同様に、制御出力 $PACT$ は目標位置 $PCMD$ に追従するよう良好なロバスト性をもって制御される。

また、制御量DUTの移動平均化演算により算出されるフィルタ処理後制御量 $DUTAV$ を用いてモデルパラメータの同定を行うことにより、比較的短い制御周期 $\Delta TCTL$ のモデルパラメータの変動が抑制され、制御性をより向上させることができる。

## 【0155】

本実施形態では、図52の油圧位置決め装置がプラントに相当し、ECU72

が、コントローラを構成する。

#### 【0156】

なお本発明は上述した実施形態に限るものではなく、種々の変形が可能である。例えばフィルタ28または87によるフィルタ処理は、移動平均化演算に限るものではなく、高周波成分を減衰させる他のローパスフィルタ処理を行うようにしてもよい。

#### 【0157】

また第2の実施形態では、油圧式の位置決め装置を示したが、油圧に代えて空気圧を用いる空気圧位置決め装置について、第2の実施形態に示した制御装置80による制御を適用するようにしてもよい。

また制御対象出力を目標値に一致させるフィードバック制御を実行し、その制御偏差の減衰特性を指定可能な応答指定型コントローラは、適応スライディングモードコントローラに限らず、スライディングモード制御と同様な制御結果を実現するバックステッピング制御を行うコントローラであってもよい。

#### 【0158】

また上述した実施形態では、モデルパラメータの同定演算の周期は、制御対象の定義に用いた同定周期 $\Delta T_{ID}$ と同一としたが、必ずしも同一としなくともよく、制御周期 $\Delta T_{CTL}$ と同定周期 $\Delta T_{ID}$ の間の周期に設定したり、同定周期 $\Delta T_{ID}$ より長い周期に設定するようにしてもよい。

#### 【0159】

また上述した実施形態では、切換関数 $\sigma$ の算出にかかる偏差 $e(k)$ のサンプリング時間間隔を示すパラメータ $k_0$ を、同定周期 $\Delta T_{ID}$ に相当する離散時間である $\Delta T_{ID}/\Delta T_{CTL}$ に設定したが、「1」より大きい他の整数値に設定するようにしてもよい。

#### 【0160】

##### 【発明の効果】

以上詳述したように請求項1に記載の発明によれば、コントローラの制御周期よりも長い周期でサンプリングしたプラントの入出力を用いてモデル化した制御対象モデルに基づいて、プラントが制御される。したがって、制御のむだ時間を

小さくし、また摩擦特性などの動特性を補償するためにプラントの動作周波数領域に対応した周期より短い制御周期で制御を実行する場合において、制御対象モデルの動特性をプラントの実際の動特性に精度よく近似させることができるとなる。またコントローラの制御周期は、プラントの入出力のサンプリング周期より短いため、コントローラ出力、すなわちプラントの入力は、通常は制御周期に対応して変化する。したがって、コントローラ出力に対して高周波成分を減衰させるフィルタ処理を行い、該フィルタ処理後のコントローラ出力を、サンプリングされるプラント入力とすることにより、制御対象モデルに適用されるプラント入力の、比較的短い制御周期に対応した変動が抑制される。その結果、制御対象モデルの精度を高めて（モデル化誤差を減少させて）、プラントの制御性をより向上させることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【図1】

図1は本発明の一実施形態にかかるスロットル弁駆動装置及びその制御装置の構成を示す図である。

##### 【図2】

図1の電子制御ユニット（ＥＣＵ）により実現される機能を示す機能ブロック図である。

##### 【図3】

モデルパラメータ（ $a_1''$ ， $a_2''$ ）のリミット処理を説明するための図である。

##### 【図4】

スロットル弁開度制御処理の全体構成を示すフローチャートである。

##### 【図5】

図4の処理で実行される状態変数設定処理のフローチャートである。

##### 【図6】

図4の処理で実行されるモデルパラメータの同定演算処理のフローチャートである。

##### 【図7】

$\theta$  base テーブルを示す図である。

【図8】

図6の処理で実行される同定誤差（ide）の演算処理のフローチャートである。

【図9】

図4の処理で実行される第1リミット処理のフローチャートである。

【図10】

図9の処理で実行されるモデルパラメータ（a1”， a2”）のリミット処理のフローチャートである。

【図11】

図10の処理を説明するための図である。

【図12】

図9の処理で実行されるモデルパラメータ（b1”）のリミット処理のフローチャートである。

【図13】

図9の処理で実行されるモデルパラメータ（c1”）のリミット処理のフローチャートである。

【図14】

図4の処理で実行される第2リミット処理のフローチャートである。

【図15】

図4の処理で実行される制御量（Us1）の算出処理のフローチャートである。

【図16】

図15の処理で実行される切換関数値（σ）の演算処理のフローチャートである。

【図17】

図16の処理で実行される切換関数設定パラメータ（VPOLE）の演算処理のフローチャートである。

【図18】

図17の処理で使用されるテーブルを示す図である。

【図19】

図15の処理で実行される到達則入力(Urch)の演算処理のフローチャートである。

【図20】

図15の処理で実行される適応則入力( sadp )の演算処理のフローチャートである。

【図21】

図15の処理で実行される非線形入力(Unl)の演算処理のフローチャートである。

【図22】

図15の処理で実行されるダンピング入力(Udamp)の演算処理のフローチャートである。

【図23】

図4の処理で実行されるスライディングモードコントローラの安定判別処理のフローチャートである。

【図24】

本発明の第2の実施形態にかかる油圧位置決め装置の構成を示す図である。

【図25】

図24に示す装置を含む制御系の構成を示すブロック図である。

【図26】

制御入力(DUT)のフィルタ処理を行わない場合のステップ応答特性を説明するためのタイムチャートである。

【図27】

フィルタ処理後制御量(DUTAV)を用いた場合のステップ応答特性を説明するためのタイムチャートである。

【符号の説明】

- 1 内燃機関
- 3 スロットル弁

7 電子制御ユニット（コントローラ）

10 スロットル弁駆動装置

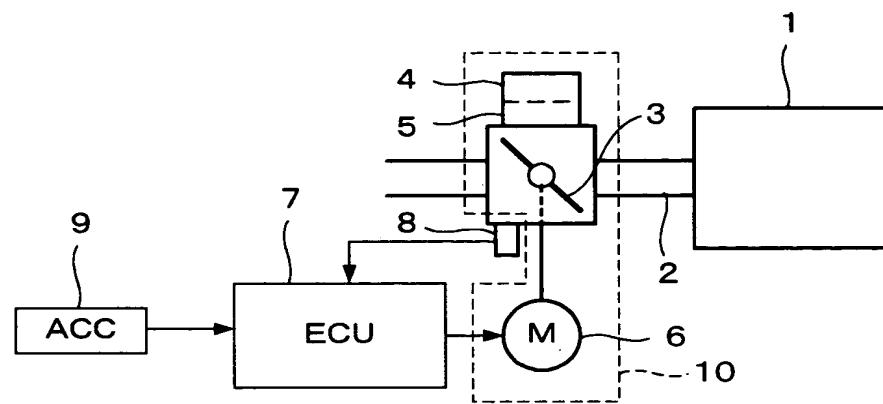
21, 82 適応スライディングモードコントローラ（コントローラ）

22 モデルパラメータ同定器

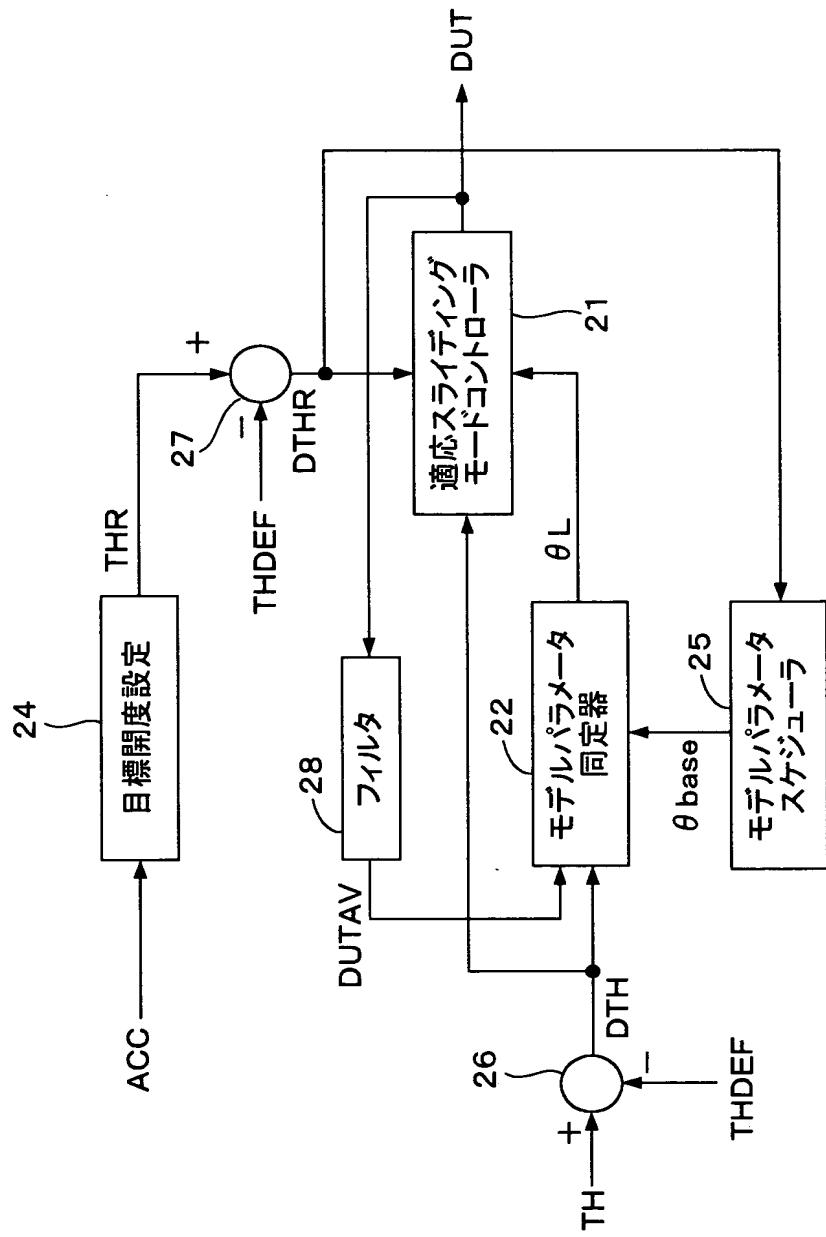
81 同定器

【書類名】 図面

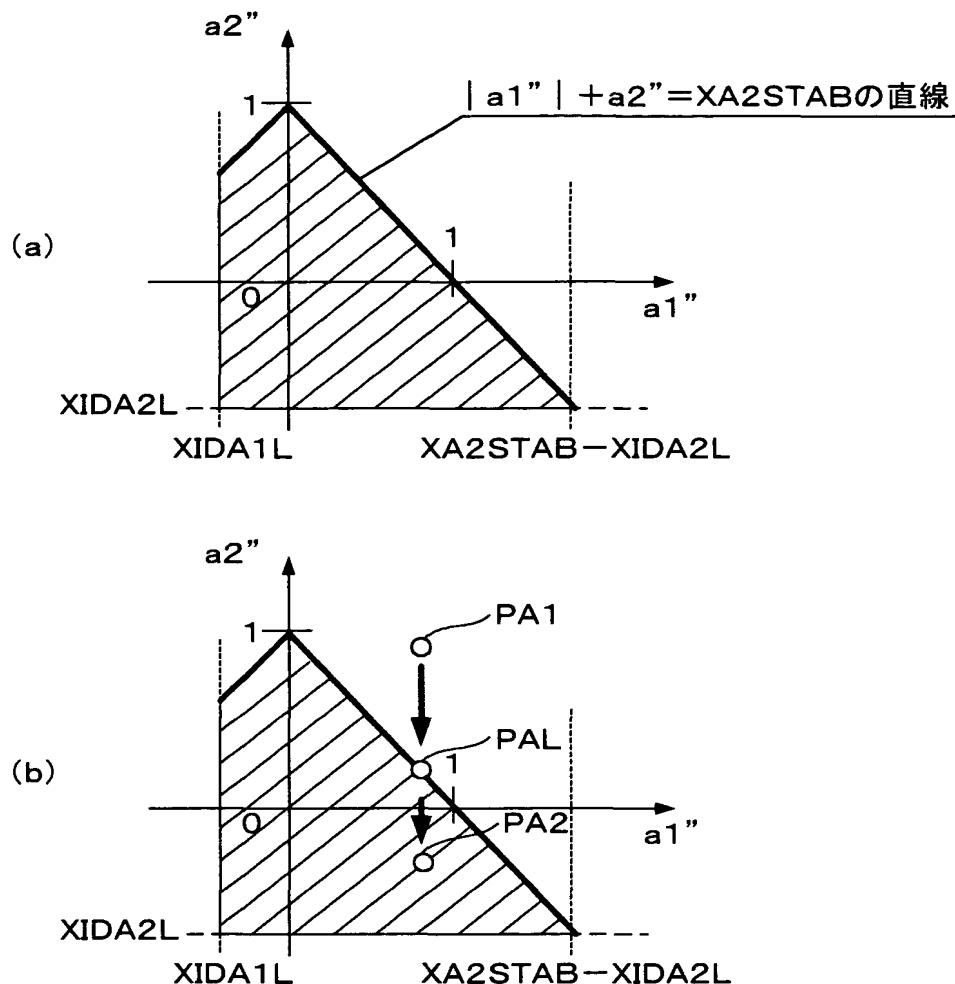
【図1】



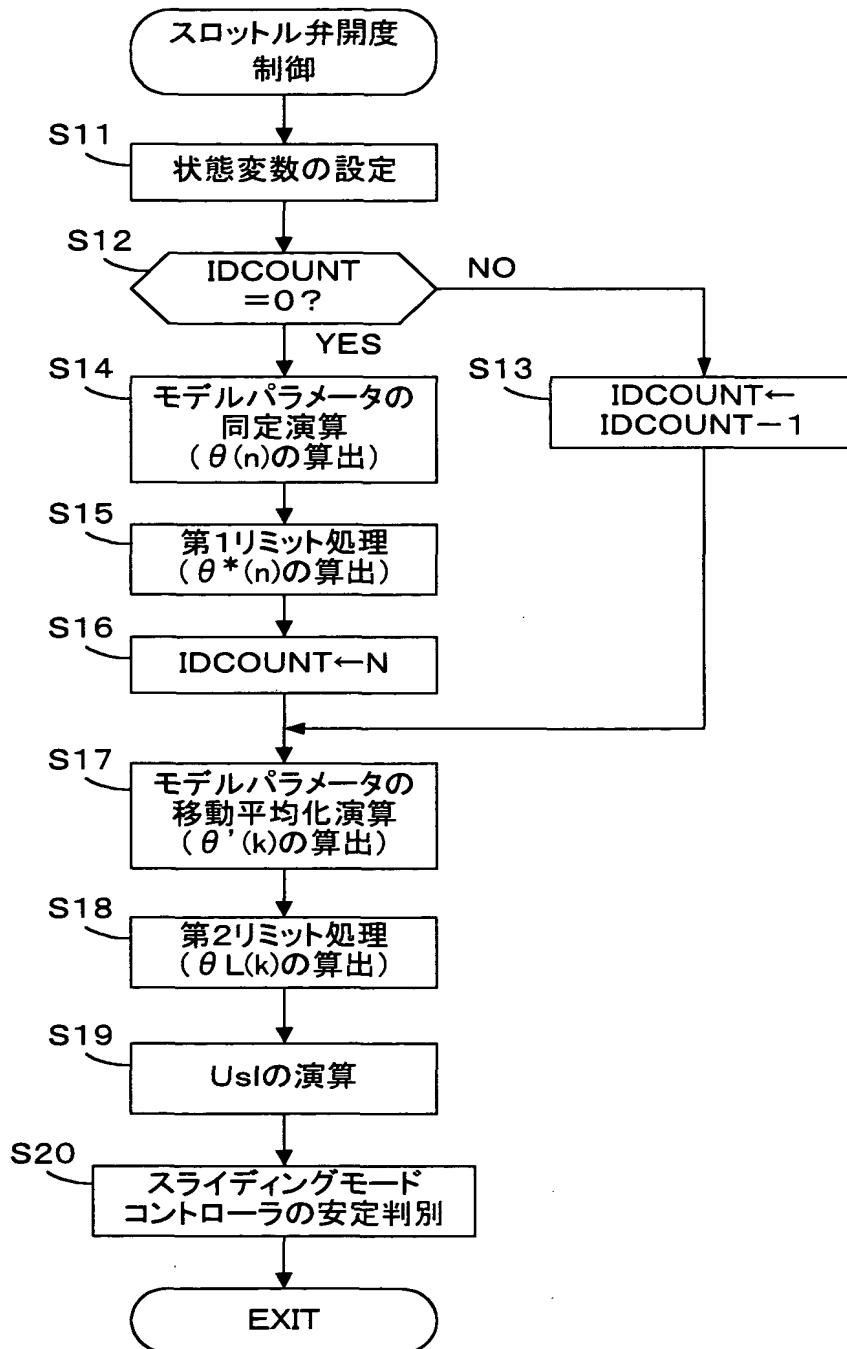
【図2】



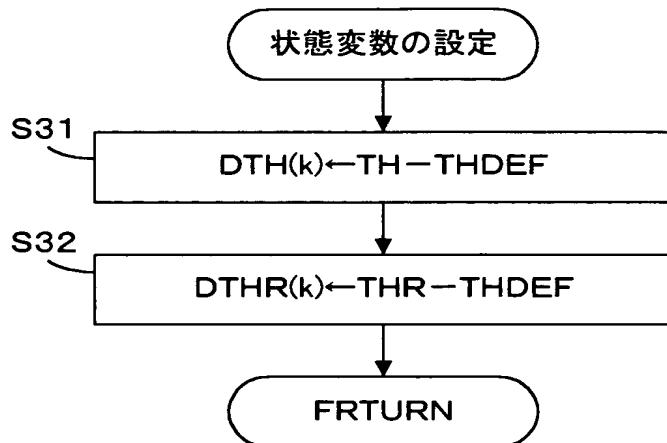
【図3】



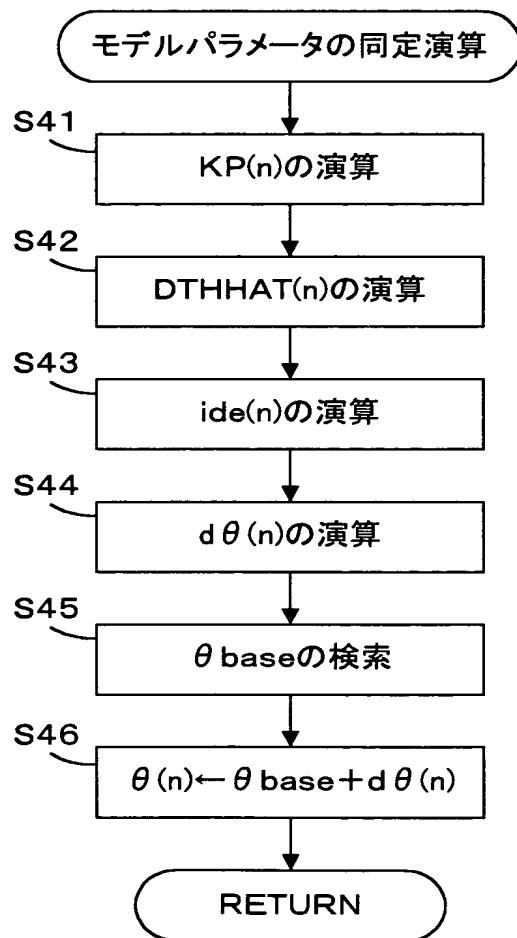
【図4】



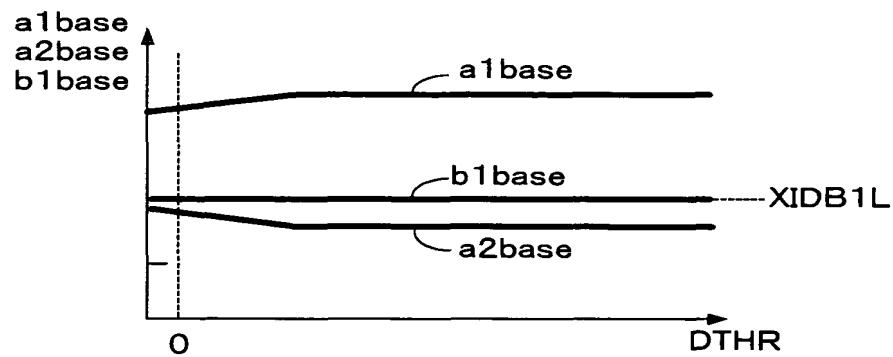
【図5】



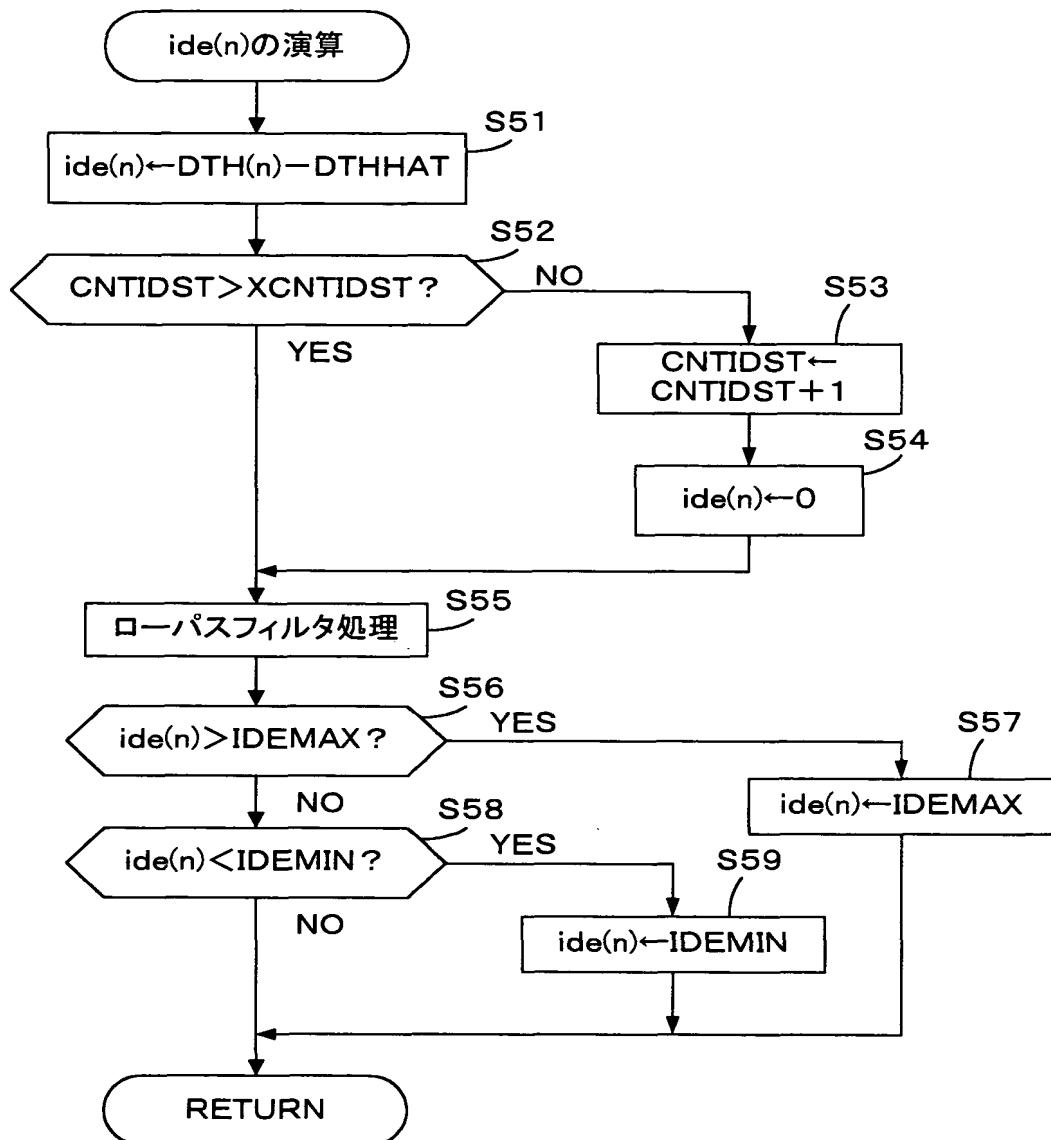
【図6】



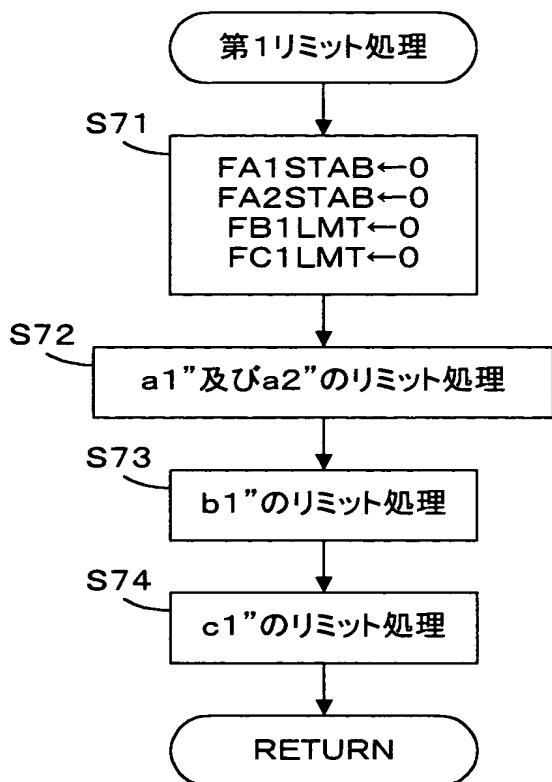
【図7】



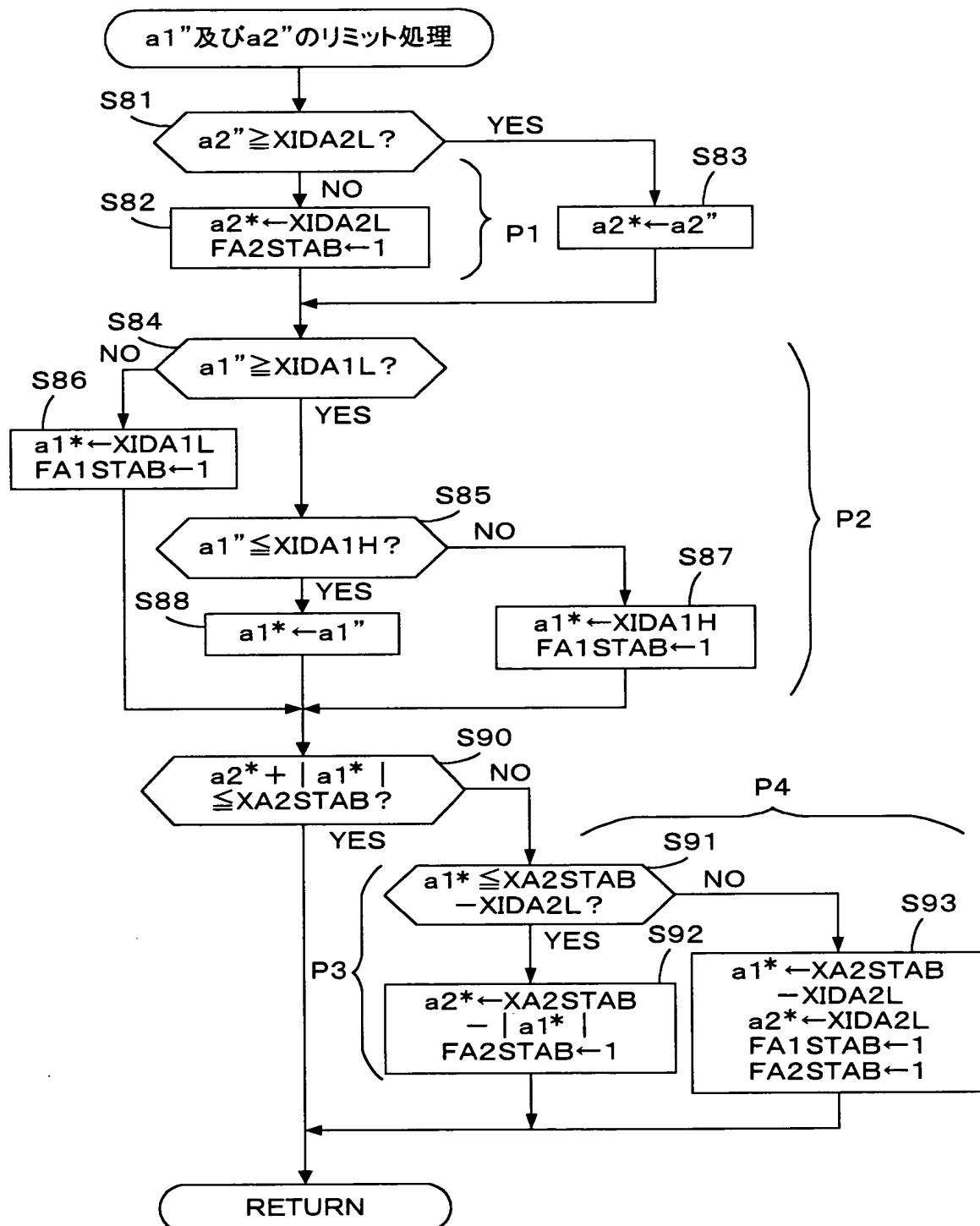
【図8】



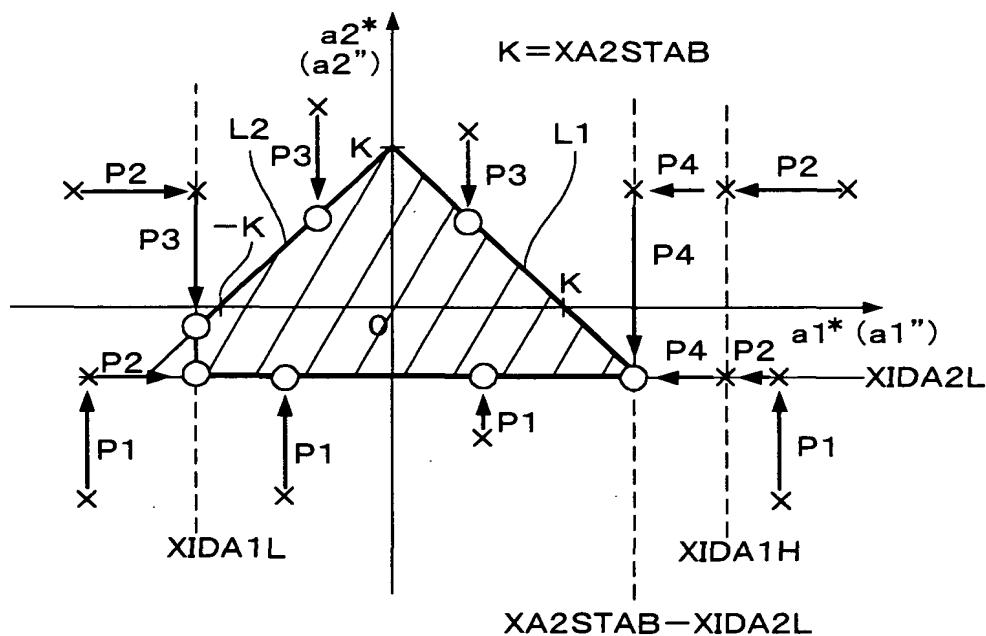
【図9】



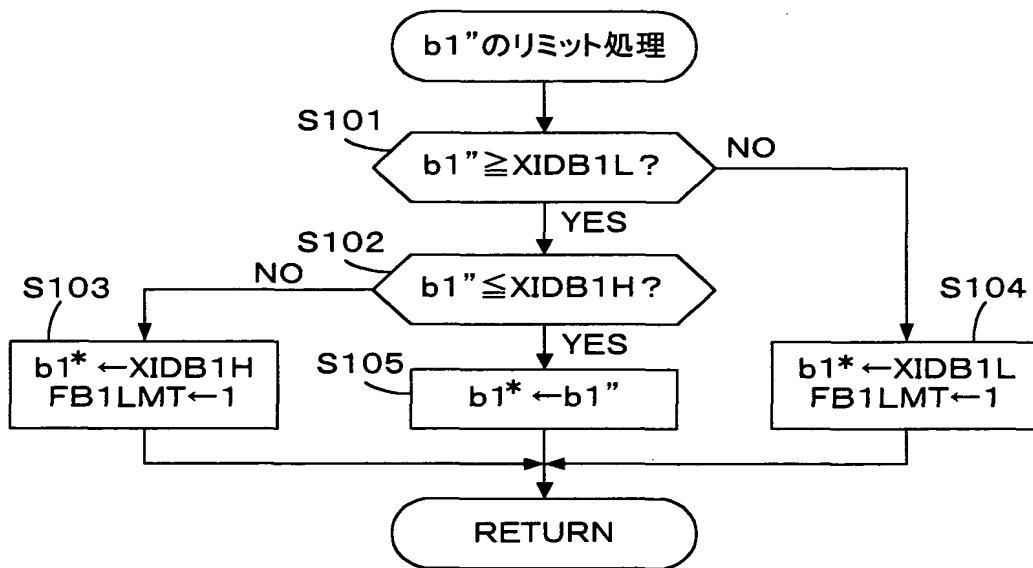
【図10】



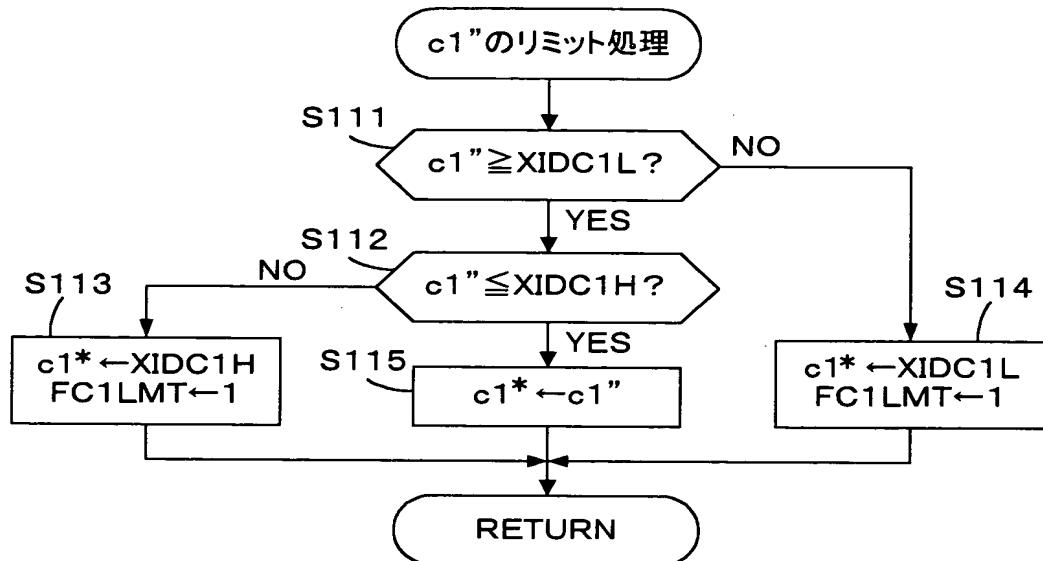
【図11】



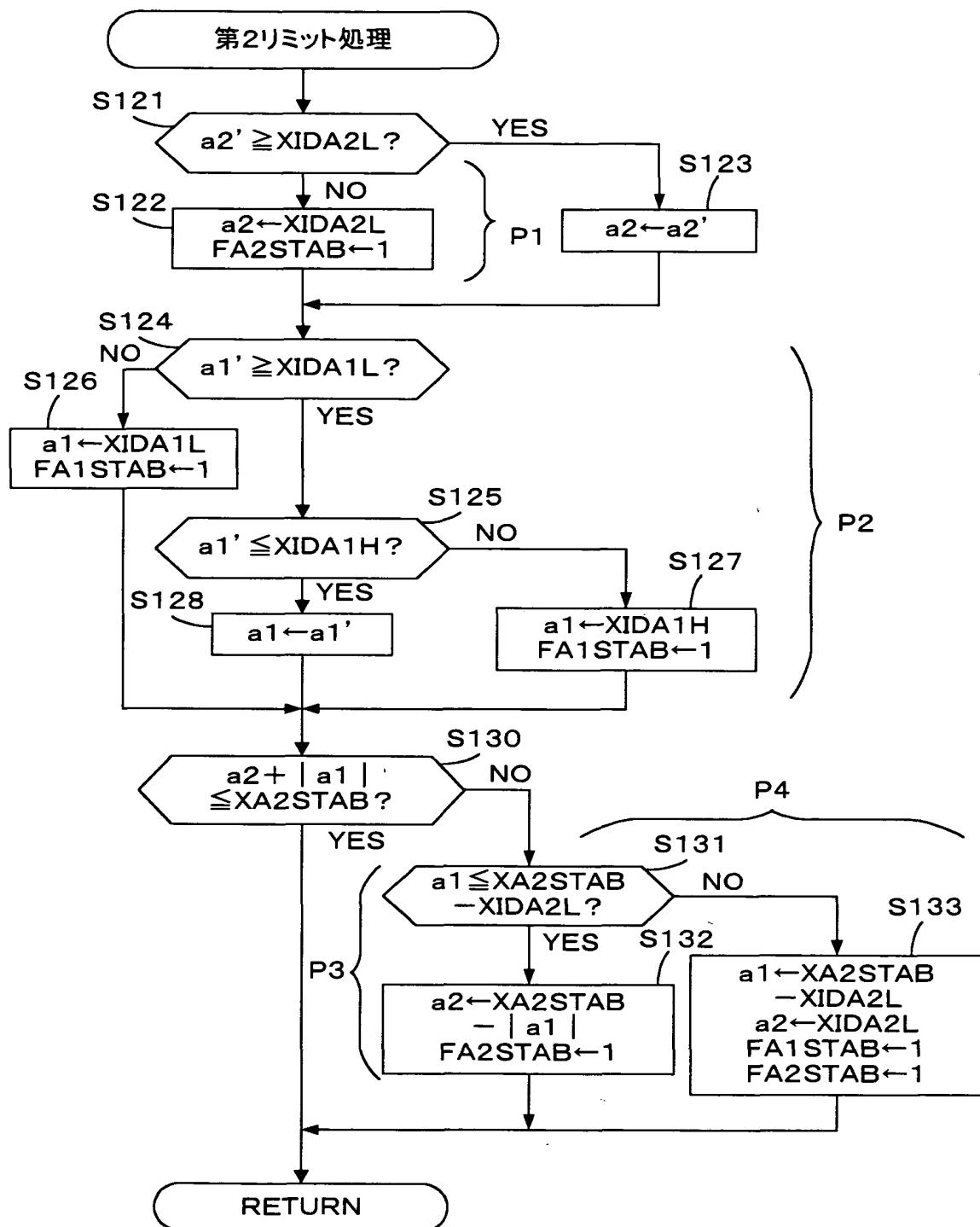
【図12】



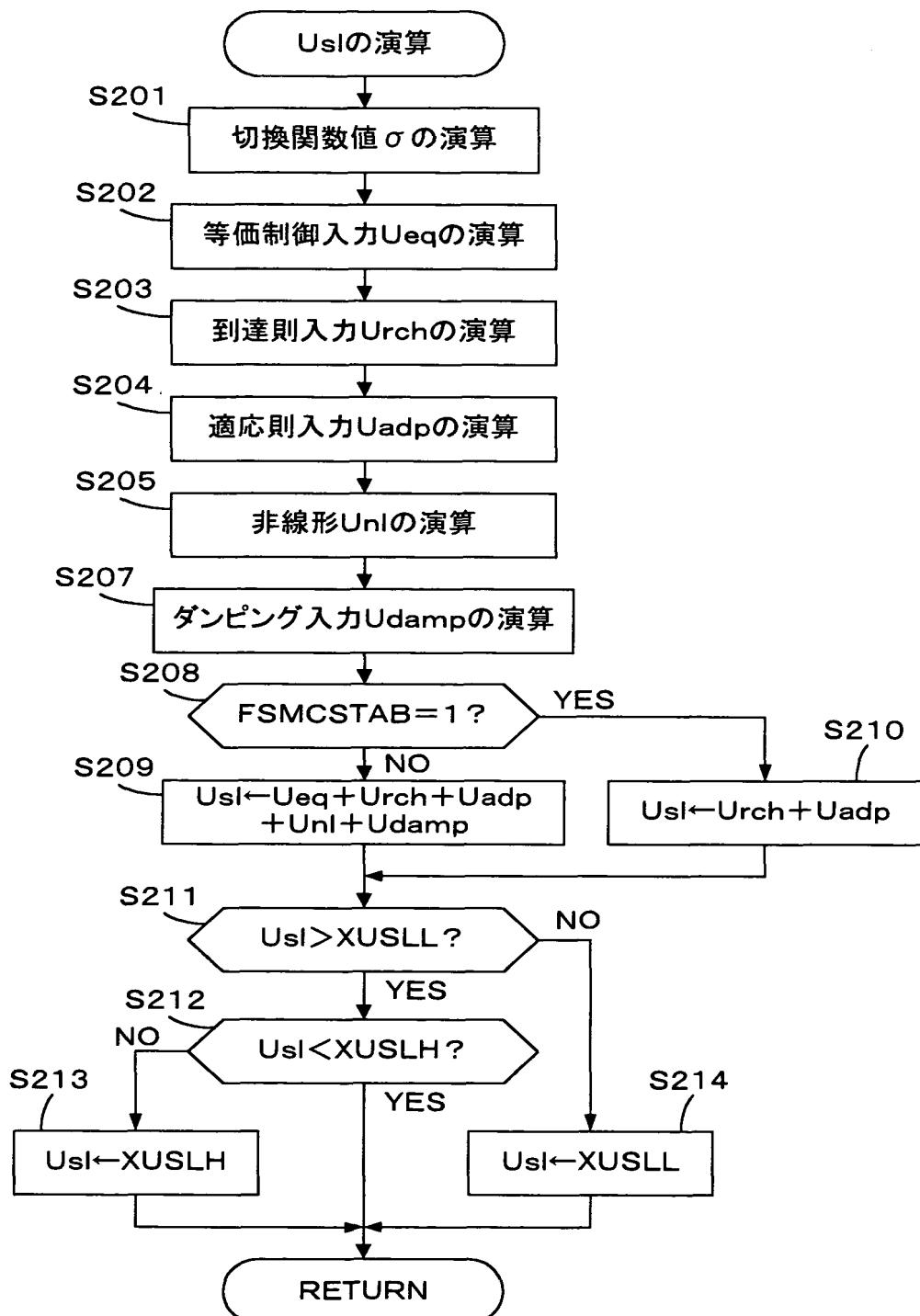
【図13】



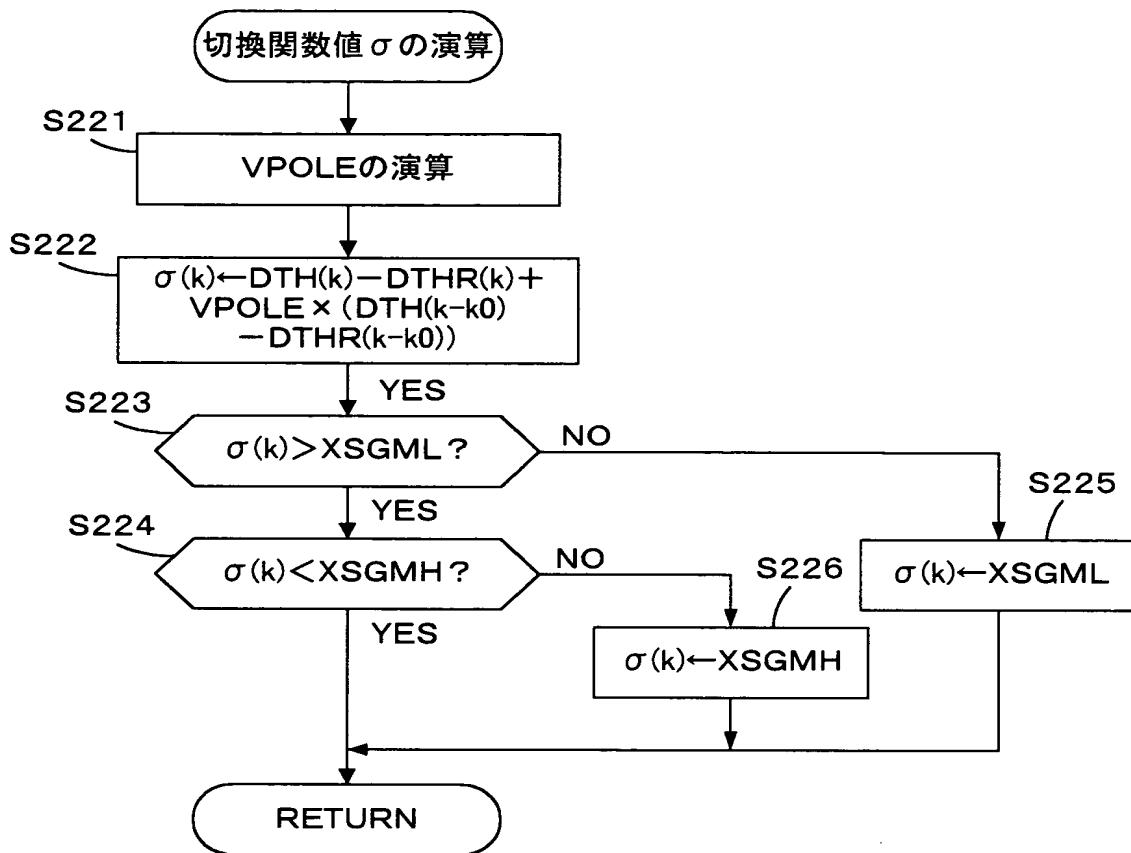
【図14】



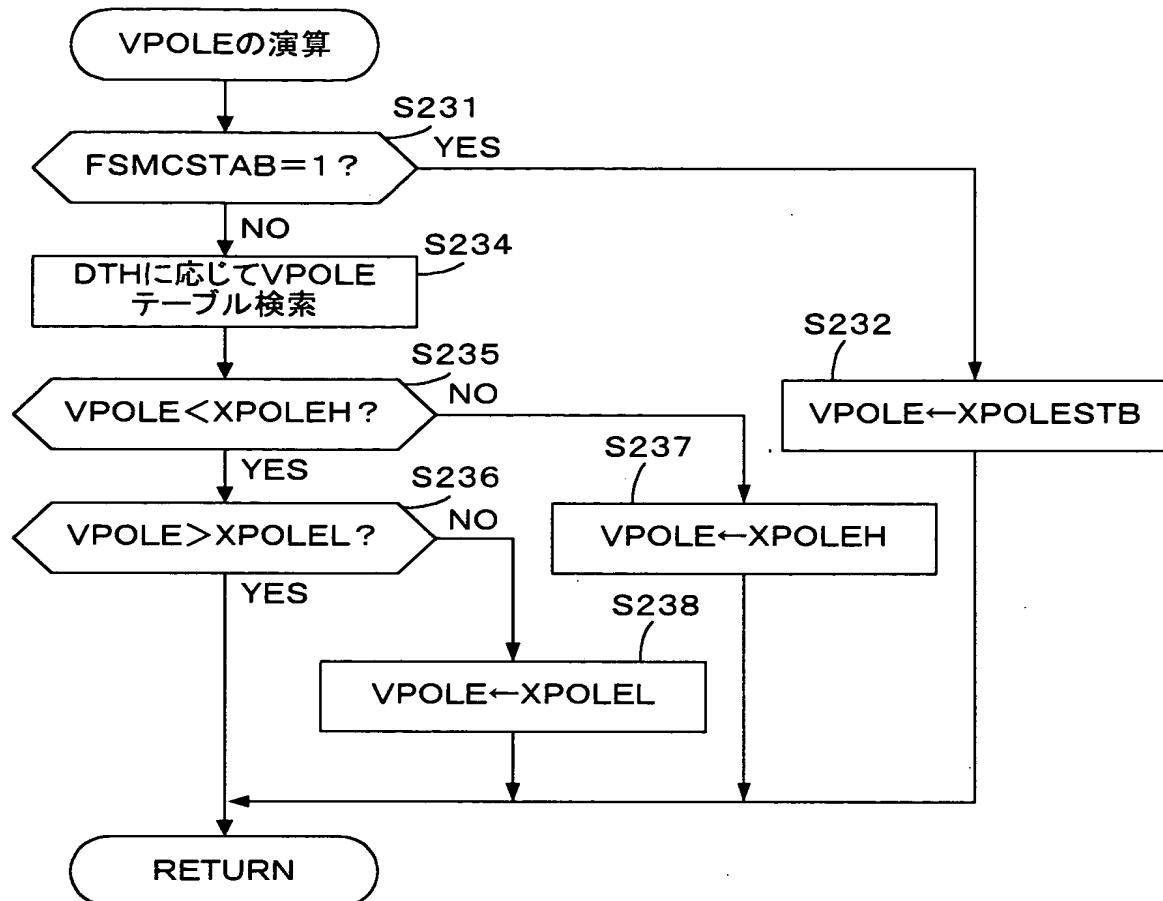
【図15】



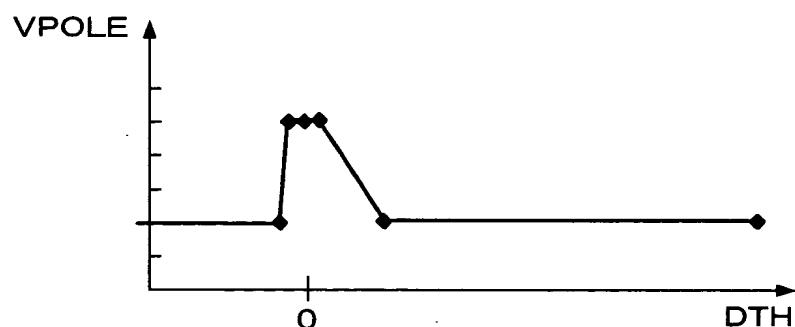
【図16】



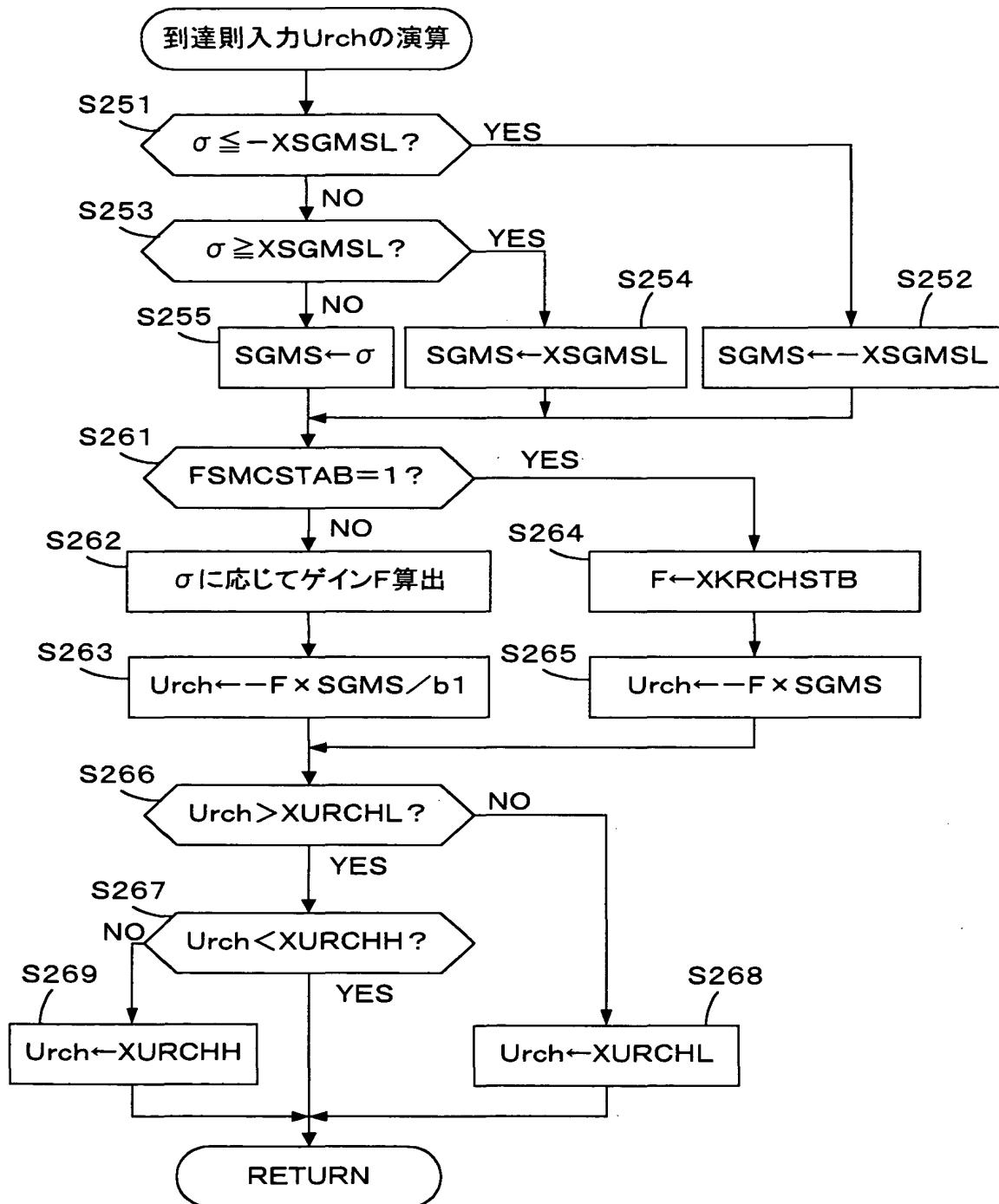
【図17】



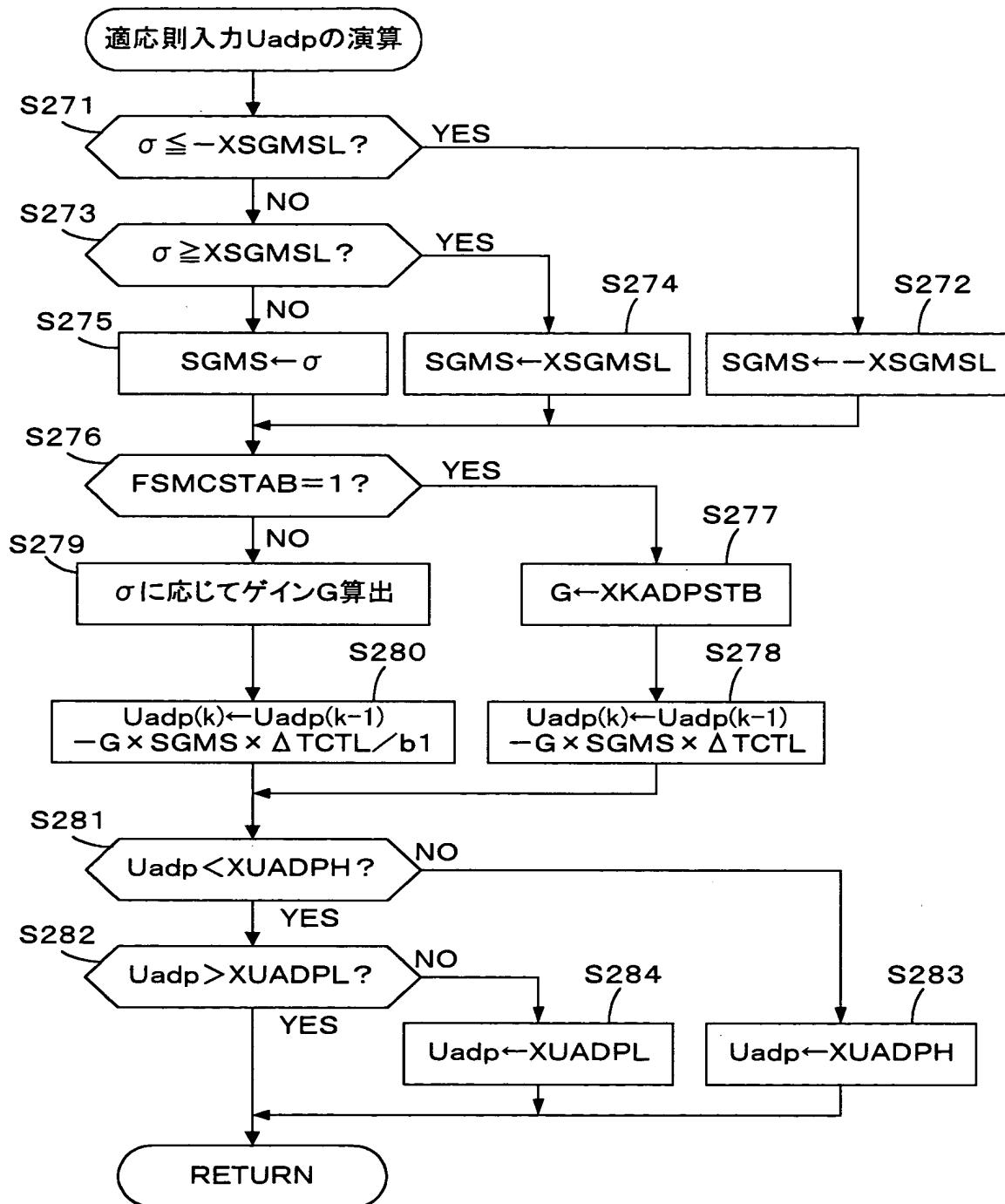
【図18】



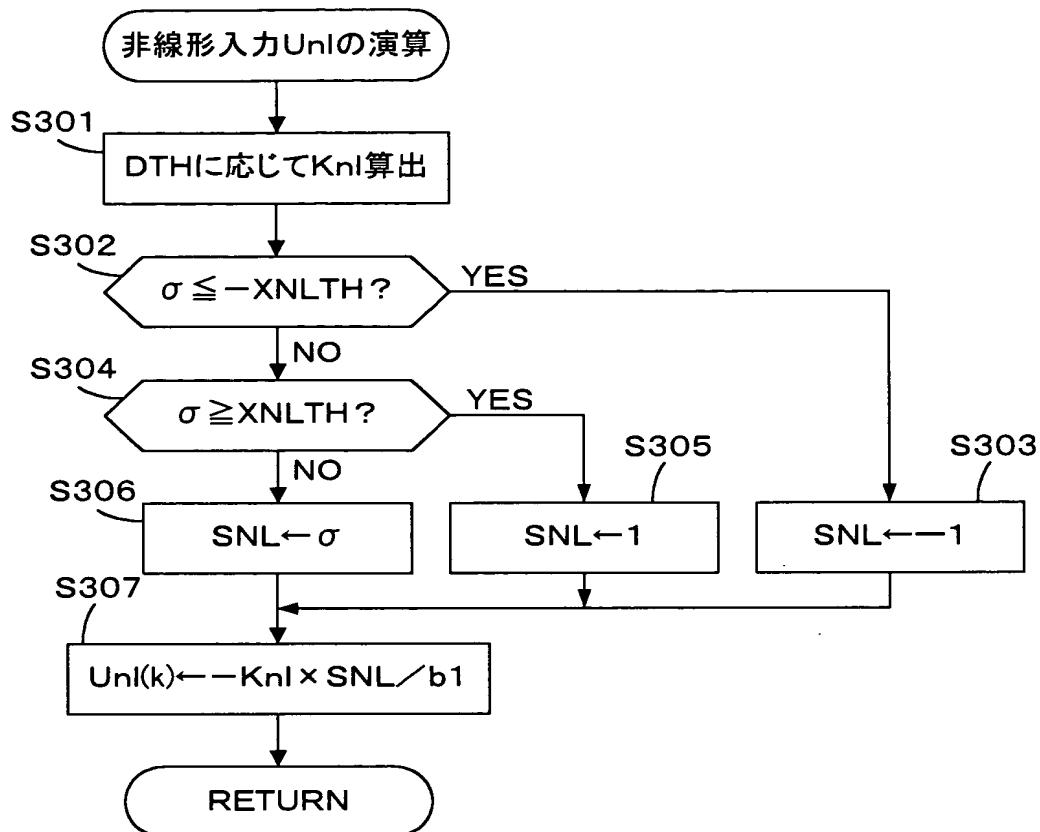
【図19】



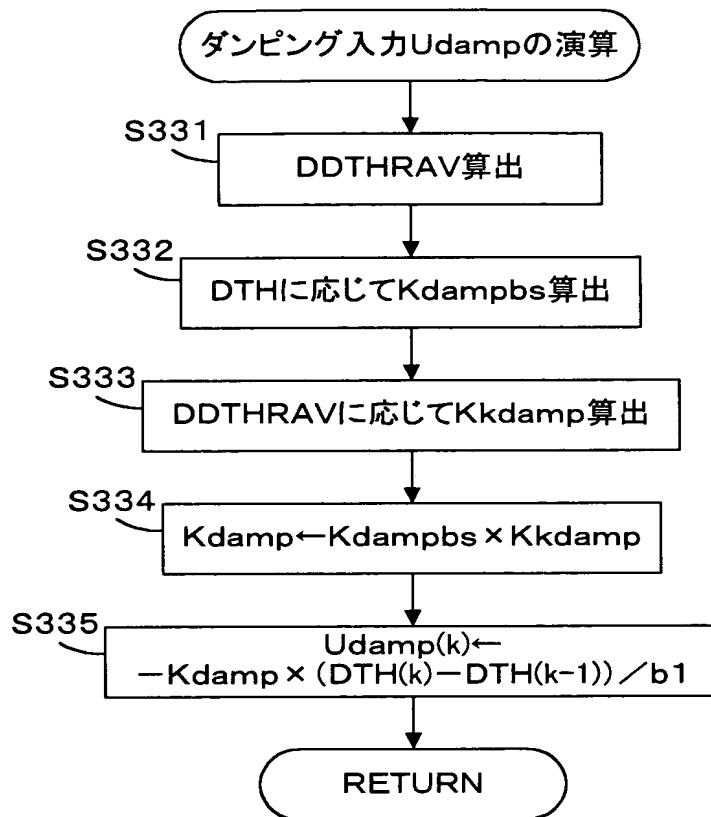
【図20】



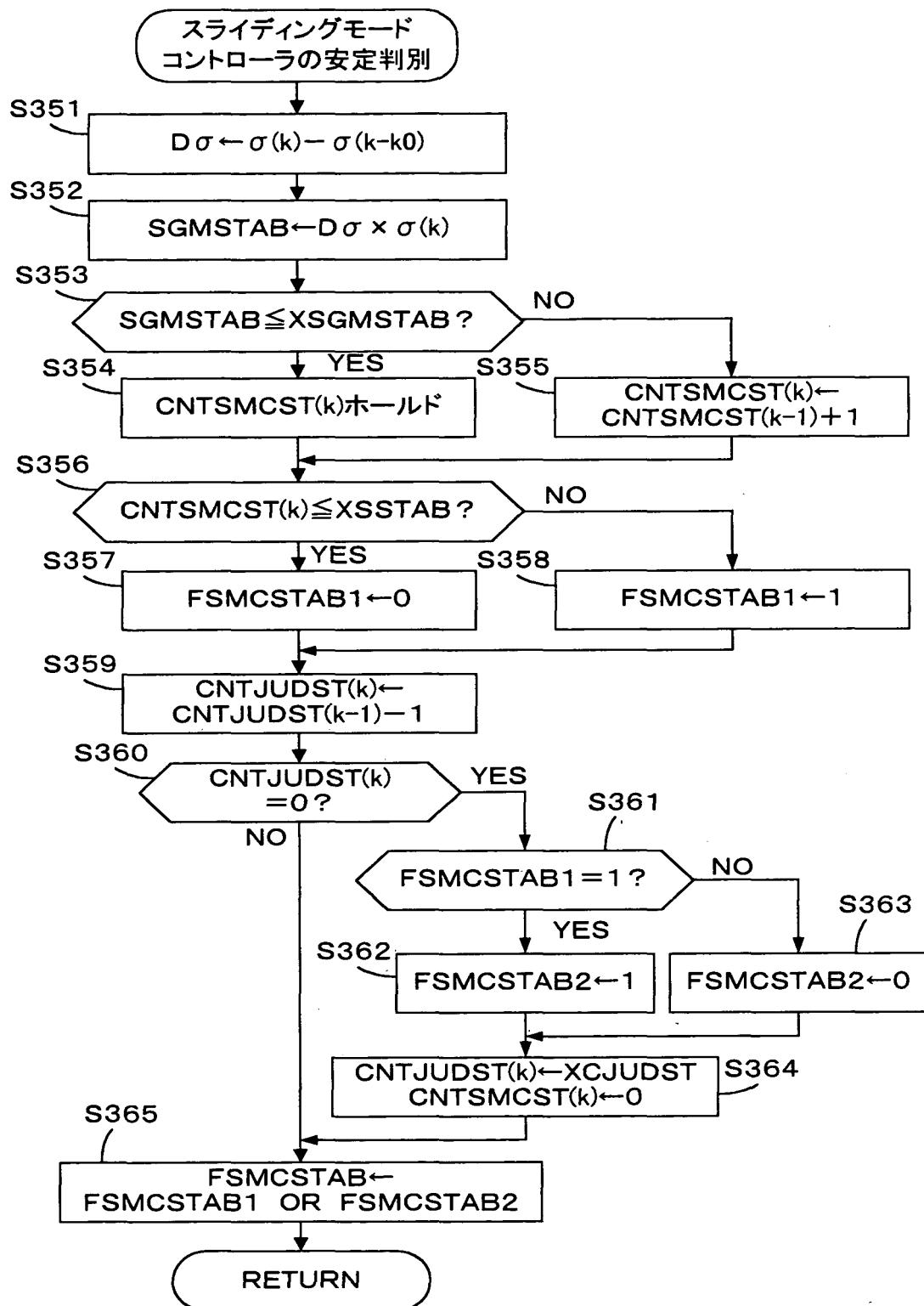
【図21】



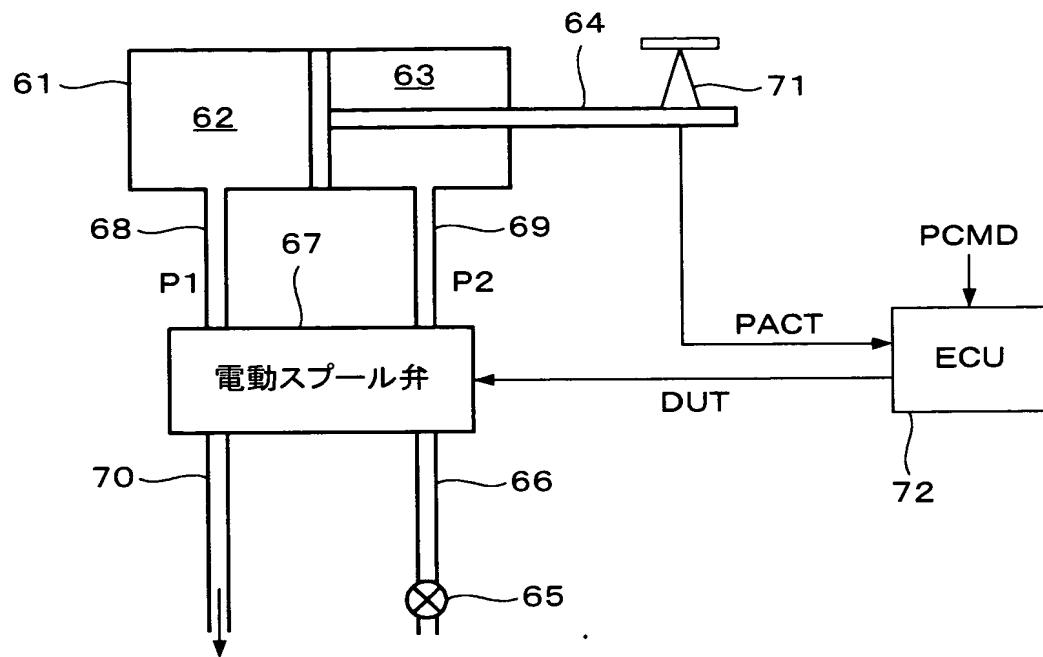
【図22】



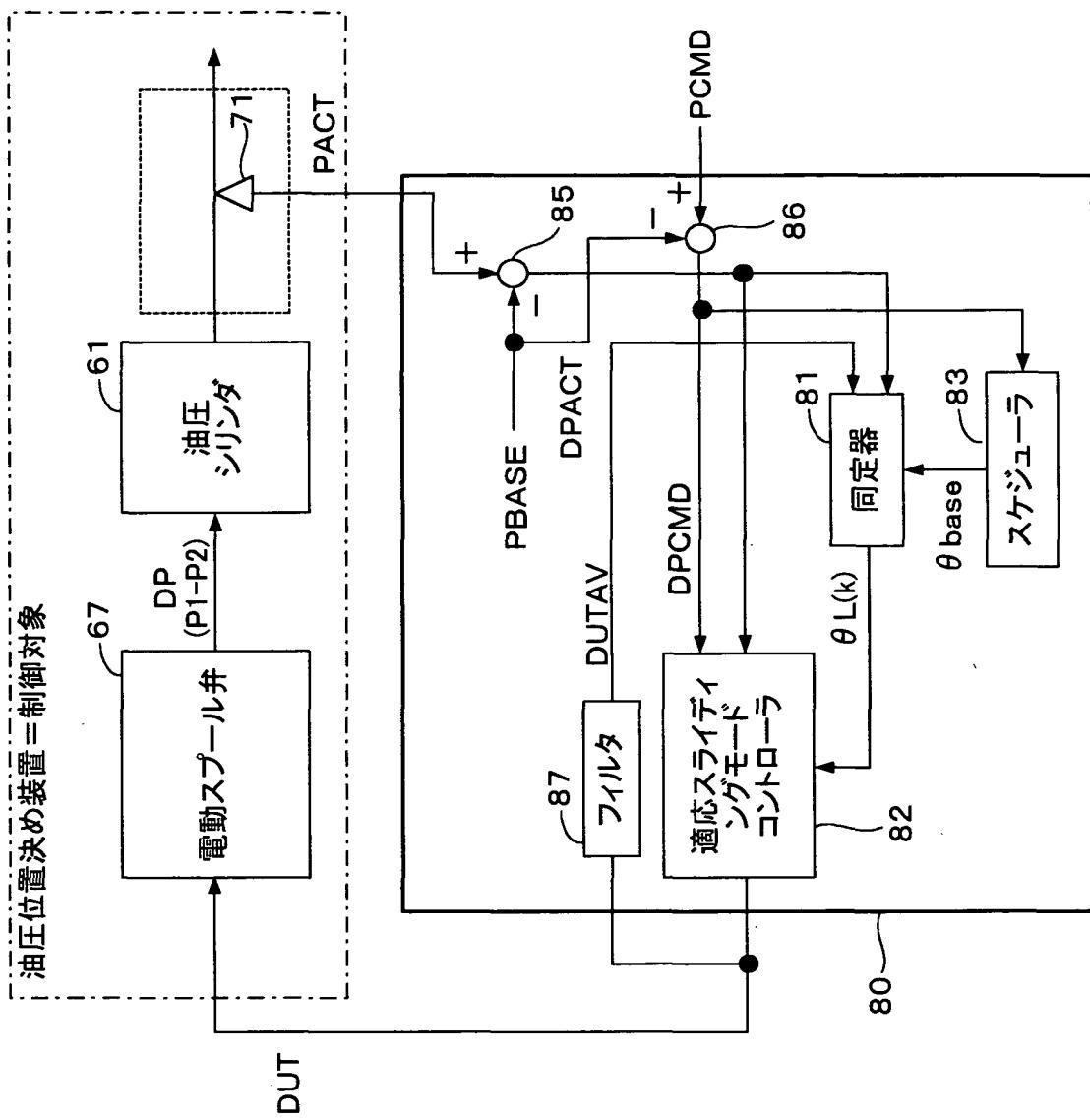
【図23】



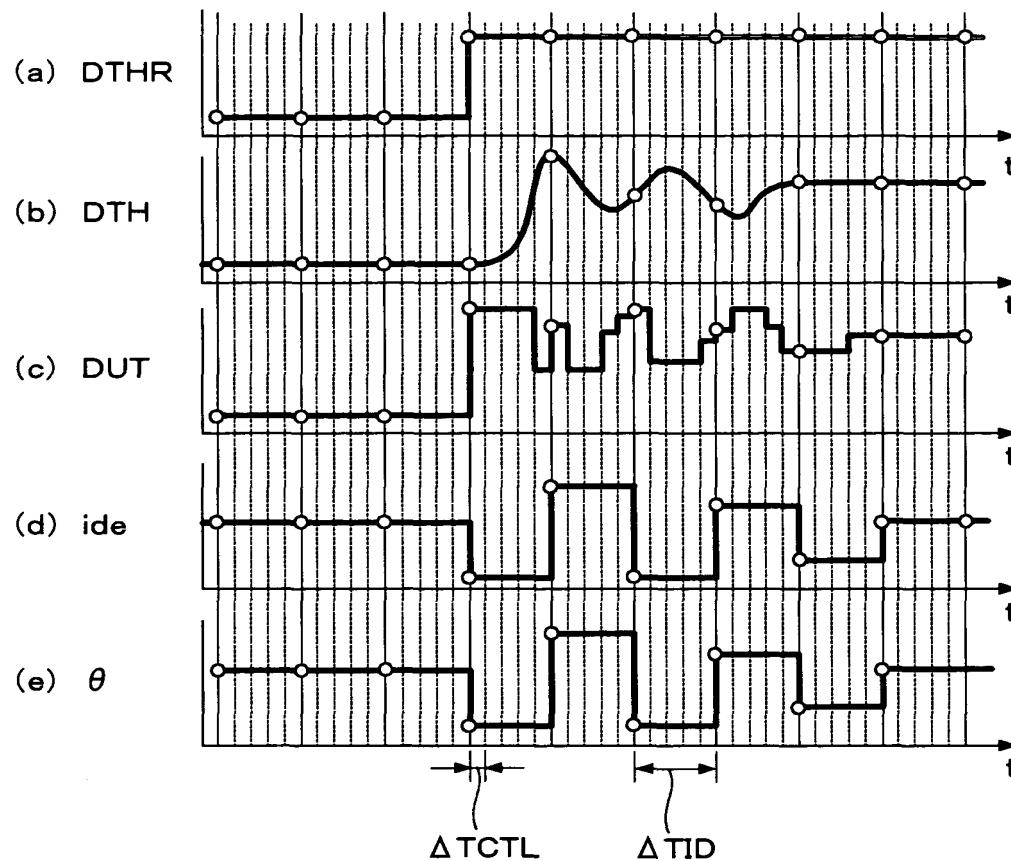
【図24】



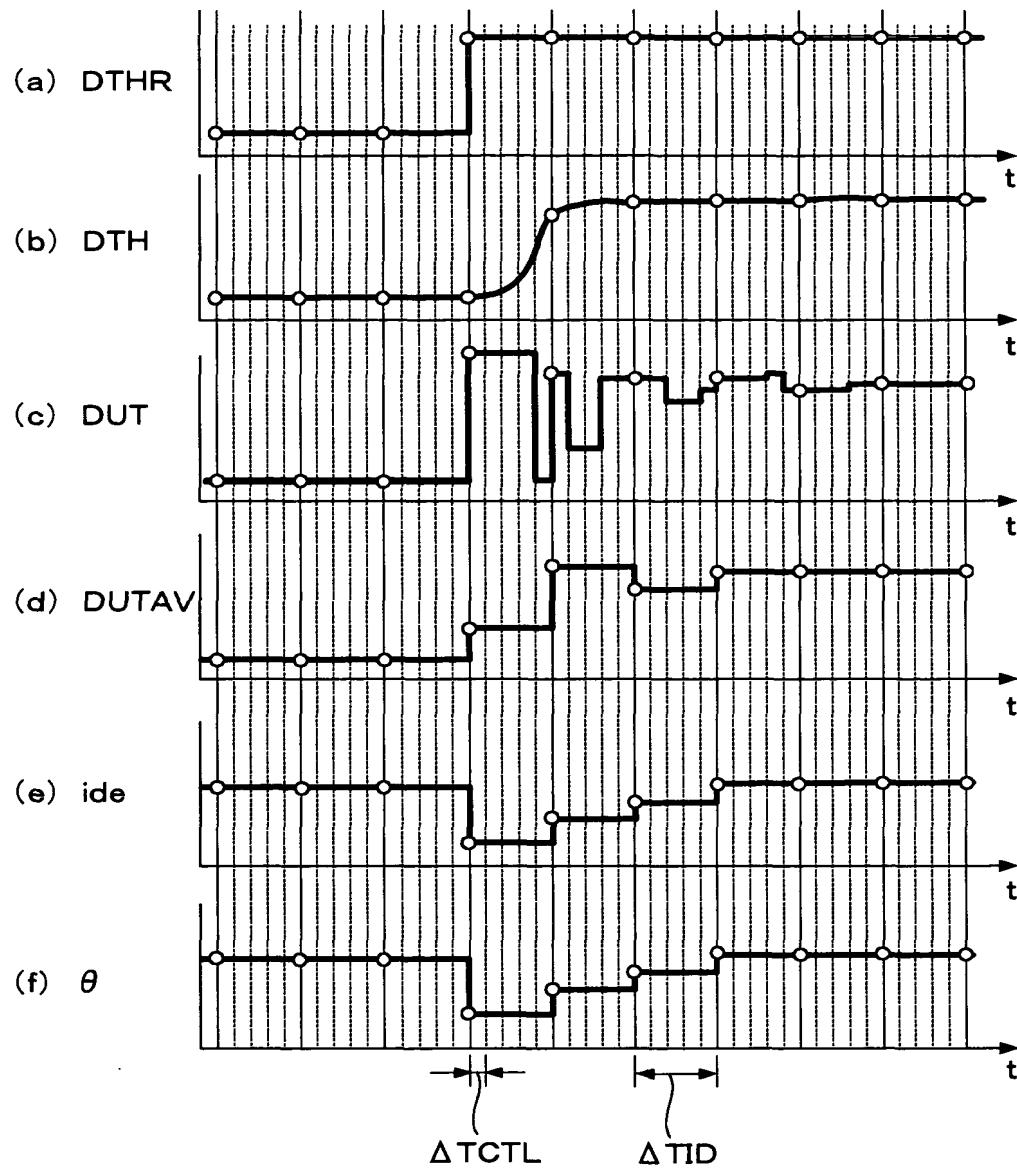
【図25】



【図26】



【図27】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 制御対象モデルの特性を、実際の制御対象であるプラントの特性により高い精度で近似させ、しかも制御周期は短い周期を採用して制御性を向上させることができるプラントの制御装置を提供する。

【解決手段】 制御対象であるプラントが例えば内燃機関のスロットル弁を駆動する装置ある場合、制御系にはスロットル弁の駆動機構の摩擦といった非線形の外乱要素が含まれている。このような場合には制御周期は比較的短くする必要があるが、プラントの動作周波数領域は、必要とされる制御周期に対応する周波数と比較してかなり低い。そこで、制御周期に比べて長いサンプリング周期を適用してプラントをモデル化する。さらにプラントの入力DUTのフィルタ処理を行い、フィルタ処理後の制御量DUTAVを用いて制御対象モデルが定義される。

【選択図】 図2

出願人履歴情報

識別番号 [000005326]

1. 変更年月日 1990年 9月 6日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都港区南青山二丁目1番1号  
氏 名 本田技研工業株式会社